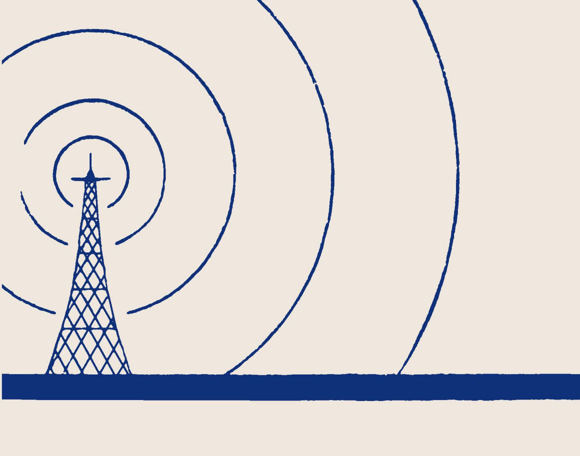
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

Р. М. МАЛИНИН

# УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ






ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

## ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

При постройке усилителей или приемников часто встречается необходимость применять в схеме сопротивления, отличающиеся по величине от сопротивлений стандартных величин, имеющихся в продаже. Сопротивление практически любой нужной величины можно составить из двух соединенных параллельно стандартных сопротивлений. Приводимая на стр. 3 обложки таблица дает возможность найти общее сопротивление, получающееся при параллельном соединении двух стандартных сопротивлений или, наоборот, дает возможность найти величины сопротивлений, которые нужно соединить в параллель для получения сопротивления заданной величины.

Числа той части таблицы, которые расположены выше и правее жирной ломаной линии, следует применять, если соединяются параллельно сопротивления одной и той же «декады», т. е. если оба сопротивления имеют порядок десятков ом, порядок сотен ом, тысяч ом, мегом и т. п. Числами же, расположенными ниже этой линии и левее ее, нужно пользоваться, если соединяются параллельно сопротивления двух соседних «декад», т. е. например, если используется одно сопротивление порядка десятков ом, а другое порядка сотен ом, либо одно сопротивление порядка тысяч ом, а другое порядка десятков тысяч ом и т. п.

Для вычисления сопротивлений бо́льших величин, чем это указано в рядах чисел, окаймляющих таблицу, от чисел, выражающих величины сопротивлений, нужно отбросить по равному числу нулей с таким расчетом, чтобы получились двухзначные (или трехзначные) числа, имеющиеся в окаймлении таблицы, затем найти по таблице общую величину и увеличить ее во столько раз, во сколько раз мы уменьшили для вычисления величину каждого сопротивления в отдельности.

П р и м е р 1. Определить общее сопротивление соединенных параллельно сопротивлений в 470 000 *ом* и 270 000 *ом*. Так как оба сопротивления имеют величины одного порядка, пользуемся верхним и правым рядами цифр таблицы. Отбросив по четыре нуля, т. е. уменьшив числа в 10 000 раз, находим, что сопротивления в 47 *ом* и 27 *ом* при соединении в параллель дают общее сопротивление 17,1 *ом*. Увеличив полученное число в 10 000 раз, получаем окончательный результат — 171 000 *ом*.

П р и м е р 2 Необходимо иметь сопротивление нестандартной величины в 500 *ом*. Ищем среди чисел таблицы, расположенных внутри средней рамки, число, в 10 раз меньшее, т. е. 50 *ом*. Находим, что такое сопротивление можно получить при параллельном соединении сопротивлений в 56 *ом* и 470 *ом*. Следовательно, для получения сопротивления в 500 *ом* нужно взять сопротивления в 10 раз большей величины — одно в 560 *ом* и второе в 4 700 *ом*.

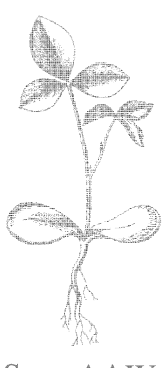
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

*Выпуск 29*

Р. М. МАЛИНИН

# УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

## (С УНИВЕРСАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ)







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

*В книге описаны простые самодельные усилители низкой частоты для усиления от детекторного радиоприемника, регенеративного приемника и от граммофонного адаптера.*

*Излагаются основные принципы действия усилителей и описывается несколько вариантов схем и конструкций простых усилителей с универсальным питанием. Приводятся подробные монтажные схемы этих усилителей и даются указания по их налаживанию.*

*Книга рассчитана на начинающего радиолюбителя.*

---

## СОДЕРЖАНИЕ



**Редактор К. И. Дроздов** | **Техн. редактор Г. Б. Фомилиант**

**Сдано в набор 24/II 1949 г.** | **Подписано к печати 16. VI 1949 г.**
**Объем 4 п. л.** | Уч.-авт. л. 4 | **Тираж 45 000**
**А-06984** | Бумага $84\times180^1/_{32}$ | **Заказ 2076**

**Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.**

## 1. ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ?

Для того, чтобы громкоговоритель давал достаточно громкое звучание, к нему нужно подвести определенную электрическую мощность переменного тока низкой частоты. Так, например, для нормального звучания в комнате громкоговорителя типа «Рекорд» на него нужно подать мощность низкой (звуковой) частоты до $0{,}2 \div 0{,}25$ *вт*, а хорошие комнатные динамические громкоговорители требуют мощность до $1 \div 2$ и более ватт. Соответственно от динамиков можно получить более громкую (и более натуральную) передачу, чем от громкоговорителя «Рекорд».

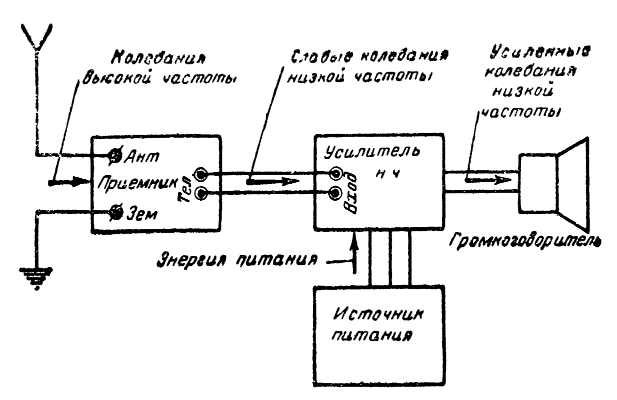
Указанные мощности являются максимальными мощностями, которые должны получать громкоговорители для воспроизведения наиболее громких звуков, имеющих место в передаче например: при громком звучании оркестра, при выкриках и т. п. При передаче тихой речи, при игре на музыкальных инструментах с небольшой громкостью громкоговорители получают меньшие мощности низкой (звуковой) частоты и звучат поэтому слабее.

При включении громкоговорителя в одноламповый регенеративный приемник (вместо головных телефонов) громкоговоритель получит от него значительно меньшую мощность низкой частоты, даже при громком приеме мощных близко расположенных станций, и поэтому в последнем случае громкость звучания громкоговорителя получается совершенно недостаточной и для небольшой комнаты. Применение усилителя высокой частоты в регенеративном приемнике улучшает устойчивость (надежность) приема дальних и маломощных станций, но не дает существенного увеличения громкости.

При включении же громкоговорителя в детекторный приемник громкоговоритель получает от него еще меньшую мощность, чем от одноглампового приемника; слушать передачу

от него можно только на телефон, когда последний приложен непосредственно к уху.

Для того, чтобы осуществить с помощью однолампового или детекторного приемника удовлетворительный прием радиопередач на громкоговоритель, полученные от радиоприемника колебания низкой частоты необходимо увеличить по мощности или, как обычно говорят, усилить их мощность до величины, потребной для нормальной работы громкоговорителя. Эта задача может быть решена с помощью прибора, носящего название усилителя низкой частоты.



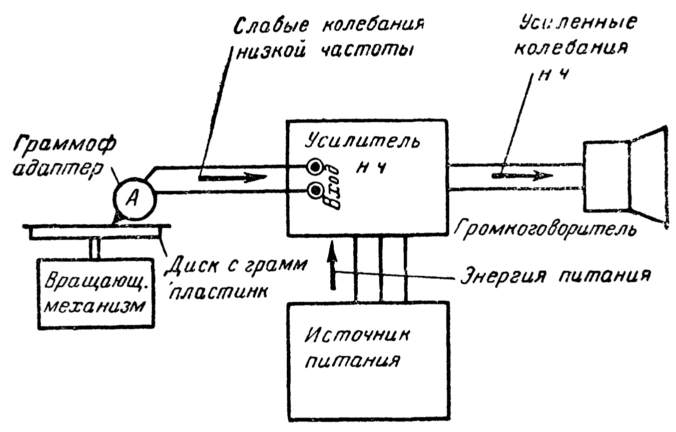

Фиг. 1. Скелетная схема включения усилителя низкой частоты при радиоприеме.

От приемника к усилителю подводятся слабые электрические колебания низкой частоты, а получаемые от последнего более мощные колебания низкой частоты передаются громкоговорителю. Увеличение мощности усилителем осуществляется с помощью содержащихся в нем электронных ламп за счет расходования энергии от источника постоянного напряжения, питающего их анодные цепи. Скелетная схема соединений приемника, усилителя низкой частоты, громкоговорителя и источника питания показана на фиг. 1.

**Другие применения усилителей низкой частоты.** Кроме усиления принимаемых радиовещательных передач, усилитель низкой частоты может быть также использован для воспроизведения записей с граммофонных пластинок через громкоговоритель. При использовании динамического громкоговорителя воспроизведение граммофонных записей получается зна-

чительно более естественным и приятным, чем с помощью обычного патефона (граммофона) с акустической мембраной.

Для этой цели мембрана патефона (граммофона) заменяется граммофонным адаптером, который представляет собой магнитоэлектрический или пьезоэлектрический механизм, превращающий колебания иглы, движущейся по бороздке граммофонной пластинки, в сравнительно слабые электрические колебания низкой частоты. Эти колебания подводятся к усилителю низкой частоты, усиливаются и подаются на громкоговоритель точно так же, как и в случае радиоприема (фиг. 2).




Фиг. 2. Скелетная схема включения усилителя низкой частоты для воспроизведения через динамический громкоговоритель записей с граммофонных пластинок.

Отметим, что усилители низкой частоты находят себе также применение в устройствах звукозаписи на пластинки, на пленку и т. д. Усилители низкой частоты являются важнейшими частями радиотрансляционных узлов. Они подают в провода распределительных сетей этих узлов мощности низкой частоты в сотни и тысячи ватт, достаточные для работы большого числа абонентских громкоговорителей, расположенных в домах и на улицах города или района. Кроме того, усилители низкой частоты применяются на междугородных телефонных станциях для усиления передаваемых разговоров и во многих других областях современной техники и науки.

В этой книжке мы описываем принцип действия, приводим схемы и конструкции простейших усилителей низкой частоты,

доступных к изготовлению радиолюбителями и предназначаемых для осуществления громкоговорящего приема от детекторных и одноламповых радиоприемников, а также для воспроизведения через громкоговоритель граммофонных записей.

## 2. КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Радиолюбитель, приобретающий или строящий радиоприемник или усилитель к приемнику, требует от них не только достаточно *громкого* воспроизведения передачи, но и возможно более *естественного* звучания, требует, чтобы звуки, воспроизводимые громкоговорителем, как можно меньше отличались от тех звуков, которые были воспроизведены перед микрофоном в студии при радиопередаче или при записи на граммофонную пластинку.

Неправильно построенный (или неисправный) усилитель обычно не удовлетворяет этому требованию. Говорят, что такой усилитель *искажает* передачу.

Для того, чтобы радиолюбитель мог сознательно подойти к вопросу создания усилителя, обеспечивающего естественное звучание радиопередач и воспроизведения граммофонных записей, рассмотрим кратко основные условия получения неискаженной передачи и постараемся выяснить, почему в передаче могут возникнуть искажения и как можно их избежать.

**Полоса пропускания частот.** Наука о звуке — акустика — говорит, что ухо человека способно воспринимать звуковые колебания, имеющие частоты от 16 до 16 000—20 000 *гц*. Когда слушатель находится, например, в хорошем лекционном зале, концертном зале или в театре, все созданные голосом человека или музыкальными инструментами звуковые колебания с частотами, находящимися в этих пределах, непосредственно доходят по воздуху до уха слушателя, и он не может пожаловаться на то, что речь или музыка искажаются.

Было бы желательно, чтобы радиопередатчик передавал, приемник принимал и «пропускал», усилитель усиливал, а громкоговоритель одинаково хорошо воспроизводил бы все частоты от 16 до 16 000 или до 20 000 *гц*.

Для идеально качественного воспроизведения передачи в любой момент звуки различной высоты, но одинаковой громкости, должны одинаково громко звучать и в громкоговорителе; если же один передаваемый звук сильнее другого, то и в громкоговорителе их относительная громкость должна со-

храниться. При этом условии передача будет звучать вполне естественно.

**Практически необходимая полоса пропускания.** Однако радиослушатель не всегда заметит искажение передачи, если колебания некоторых частот, воспринятые микрофоном в студии, в театре или в концертном зале, громкоговоритель воспроизведет слабее других и даже если некоторые частоты вообще не будут воспроизведены.

Исследования, произведенные акустиками, показали, что ухо человека практически не заметит ухудшения в передаче, если довести до него не весь указанный выше диапазон частот, а только часть его, лежащую в полосе (в пределах) 50 ÷ 10 000 *гц* или даже 100 ÷ 8 000 *гц*. Другими словами, исчезновение из передачи частот ниже 50 ÷ 100 *гц* и частот выше 10 000 ÷ 8 000 *гц* не нарушает естественности звучания.

При современном уровне техники имеется возможность изготовлять микрофоны, усилители и громкоговорители, позволяющие «пропустить», т. е. усилить и воспроизвести, и более широкий диапазон частот, чем 50 ÷ 10 000 *гц*, но эта аппаратура пока еще сложна и дорога для того, чтобы найти себе массовое применение.

К тому же большинство радиовещательных станций, особенно работающих на длинных и средних волнах, не модулируют свои передатчики частотами выше 4 500 ÷ 5 000 *гц*. Отсутствие в передаче частот выше 4 500 ÷ 5 000 *гц* несколько ухудшает естественность звучания, но не в такой степени, чтобы передачу можно было бы назвать искаженной.

При прослушивании же записей с граммофонных пластинок даже желательно устранение из передачи частот выше 4 000 ÷ 5 000 *гц*, а также частот ниже 150 ÷ 100 *гц*. Дело в том, что столь неприятный при прослушивании граммзаписей «шум иглы» состоит из целого ряда колебаний с различными частотами, распределенными по всему звуковому диапазону, причем эти колебания наиболее интенсивны на высших частотах звукового диапазона. При устранении из полосы пропускания частот выше 4 000 ÷ 5 000 *гц* «шум иглы» в громкоговорителе заметно ослабляется.

**Полоса частот, воспроизводимая громкоговорителем.** Учитывая вышеизложенное, современные громкоговорители массового производства строятся с расчетом на воспроизведение частот только от 100 ÷ 150 *гц* и самое большее до 5 000 ÷ 6 000 *гц*. Так, например, динамический громкоговоритель типа 2ГДМ-3, применяемый в приемниках «Родина» и «Москвич»,

рассчитан на воспроизведение частот в полосе от 100 до 6 000 *гц*, динамик типа 1ГДМ-1,5 приемника «Рекорд» рассчитан на более узкую полосу — только от 150 до 5 000 *гц*, а динамики типов 0,35 ГД («Малютка») и ДАГ-1, предназначенные для работы на радиотрансляционных сетях, рассчитываются на воспроизведение частот соответственно от 200 до 5 000 *гц* и от 200 до 6 000 *гц*.

Что же касается электромагнитного громкоговорителя типа «Рекорд», то он воспроизводит частоты только от 250 до 3 000 *гц*.

**Допустимая неравномерность пропускания частот.** Вторым фактором, влияющим на качество работы усилителя и воспроизведения передачи, является равномерность усиления и воспроизведения различных частот в пределах усиливаемой полосы.

Ухо человека, способное отличить незначительное изменение высоты звука, в то же время менее чувствительно к изменениям в громкости звучания. На средних частотах звуковой полосы при громком звучании изменение интенсивности делается заметным, если оно превышает 20 ÷ 25%. При самых низких частотах и малых громкостях ухо не замечает относительно больших изменений громкости. На высших частотах звуковой полосы ухо также менее чувствительно к изменениям громкости, чем на средних частотах. Опытным путем установлено, что ухудшение качества передачи при полосе пропускания от 100 до 4 000 *гц* или до 5 000 *гц* незаметно даже тогда, когда интенсивность звучания на различных частотах будет отличаться даже в 2—3 раза, если наибольшая неравномерность звучания относится к крайним частотам звуковой полосы.

Массовое производство громкоговорителей, абсолютно одинаково воспроизводящих все частоты, участвующие в передаче, сопряжено со значительными техническими трудностями, но, учитывая вышеуказанное свойство человеческого уха, добиваться от громкоговорителей одинаковой интенсивности звучания всех частот очевидно и не имеет практического смысла.

Так, например, звуковые давления, создаваемые упомянутым выше громкоговорителем типа 1ГДМ-1,5 (от приемника «Рекорд») в диапазоне частот 150 ÷ 2 500 *гц*, изменяются не более, чем в полтора раза, что соответствует изменению интенсивности звучания примерно в 2 раза, а на частоте около 3 000 *гц* звуковое давление возрастает в 4 раза по сравнению

с давлением на самой низкой частоте, что соответствует увеличению интенсивности звучания в 16 раз. На еще более высоких частотах давление и интенсивность звучания этого громкоговорителя снова падают.

Громкоговоритель типа 2ГДМ-3 (для приемников «Рекорд» и «Москвич») создает в полосе частот 100—4 000 *гц* звуковые давления, отличающиеся друг от друга на различных частотах не более, чем в $2^1/_2$ раза, что соответствует неравномерности в интенсивности звучания в 6 раз, а создаваемое им звуковое давление на частоте 5 000 *гц* в 3 раза меньше, чем на частотах 100 и 4 000 *гц*. Соответственно интенсивность звучания частоты 5 000 *гц* получается в 9 раз меньше, чем для частот 100 и 4 000 *гц*.

Громкоговорители для трансляционных сетей типов 0,35-ГД, ДАГ-1 и «Рекорд» по этим показателям хуже, чем громкоговорители 1ГДМ-1 и 2ГДМ-3. Звуковые давления, создаваемые динамиком 0,35ГД («Малютка») в пределах воспроизводимой им полосы частот, изменяются в 5 раз, а звуковые давления, создаваемые динамиком ДАГ-1, — в 8 раз. Электромагнитные громкоговорители «Рекорд» различных серий очень отличаются друг от друга по этому показателю. В среднем можно считать, что в полосе частот, воспроизводимой «Рекордом», от 250 до 3 000 *гц* имеет место изменение давлений в 10 раз. При этом хуже всего воспроизводятся крайние частоты полосы, а наибольшие звуковые давления и соответственно наиболее интенсивное звучание получаются на частотах около 400 и 1 600 *гц*.

Искажения, вызванные неравномерным воспроизведением различных частот, носят название *частотных искажений*.

Учитывая:

а) нечувствительность человеческого уха к сравнительно значительным частотным искажениям,

б) ограничение частоты модуляции большинства радиовещательных станций верхним пределом в 4 500—5 000 *гц*,

в) желательность ограничения частот при проигрывании граммофонных пластинок с помощью адаптера пределом 4 000—5 000 *гц* и

г) полосу частот, воспроизводимых существующими громкоговорителями, — от 100÷150 до 5 000÷6 000 *гц*, мы можем признать рациональным строить простые усилители с полосой пропускания частот от 100 до 5 000 *гц*, допуская при этом неравномерность усиления частот в пределах этой полосы не более, чем в полтора (в крайнем случае два) раза. При этом

условии усилитель с громкоговорителем дадут практически удовлетворительное качество передачи.

Как мы увидим дальше, необходимая полоса пропускания при данной неравномерности усиления достигается выбором схемы усилителя и ее отдельных элементов.

Отметим, что в отдельных случаях, когда, например, громкоговоритель плохо воспроизводит высокие частоты, можно подобрать элементы схемы усилителя таким образом, чтобы на этих частотах усиление было бы больше, чем на других частотах, и таким образом добиться выравнивания звучания высоких частот. Наоборот, если громкоговоритель «выкрикивает» на высоких частотах, усилитель должен быть построен с расчетом на меньшее усиление этих частот с целью ликвидировать эти «выкрики». Определенным выбором схемы усилителя и его элементов можно улучшить звучание низших частот, если громкоговоритель плохо их воспроизводит. Указанный подбор носит название коррекции (исправления) частотных искажений.

**Нелинейные искажения.** Усилитель и громкоговоритель вносят в передачу еще так называемые нелинейные искажения, заключающиеся в том, что, кроме электрических колебаний с частотами, полученными от приемника (или граммофонного адаптера), возникают еще дополнительные колебания с новыми частотами, которых нет в принимаемой передаче.

В простейшем случае, когда к усилителю подведено напряжение синусоидальной формы (т. е. напряжение, изменение величины которого во времени может быть изображено графически в виде синусоиды), появляются частоты в целое число раз больше подведенной частоты. Так, например, если к усилителю подводится переменное синусоидальное напряжение с частотой в 1 000 *гц*, то, кроме этой основной частоты, возникают частоты 1 000×2=2 000 *гц*, 1 000×3=3 000 *гц*, 1 000×4=4 000 *гц* и т. д. Эти новые частоты носят название обертонов или гармоник. Число, показывающее, во сколько раз частота гармоники больше основной частоты, носит название номера гармоники. Так, например, для основной частоты 1 000 *гц* частота 2 000 *гц* будет второй гармоникой, 3 000 *гц* — третьей гармоникой и т. д. Обычно наиболее интенсивными в усилителе бывают вторая или третья гармоники (в зависимости от схемы усилителя), а гармоники высших номеров значительно слабее.

При несинусоидальном напряжении, которое само может рассматриваться как состоящее из нескольких синусоидаль-

ных переменных напряжений с различными частотами, на выходе усилителя получается большое количество различных новых частот.

При значительных по величине гармониках передача приобретает неприятный оттенок, голоса и музыкальные инструменты звучат не вполне естественно. При дальнейшем увеличении гармоник в передаче возникают хрипы, дребезжание, разборчивость передачи ухудшается. Наконец, когда эти дополнительные частоты очень сильны, передача делается совершенно неразборчивой: превращается в сплошной хрип и шум.

**Коэффициент нелинейных искажений.** Величина нелинейных искажений может быть оценена количественно при подаче на усилитель синусоидального напряжения и при этом выражена так называемым коэффициентом нелинейных искажений, носящим также название *клирфактора* (коэффициента дребезжания). Коэффициент нелинейных искажений определяется как отношение эффективного напряжения гармоник к эффективному напряжению основной частоты и выражается в процентах. Так, если эффективное напряжение основной частоты, даваемое усилителем, будет 80 *в*, а эффективное напряжение гармоник будет 4 *в*, то коэффициент нелинейных искажений выразится так:

$$\frac{4}{80}\cdot 100\% \doteq 5\%.$$

**Допустимая величина нелинейных искажений.** Многочисленные исследования вопроса о влиянии гармоник на качество передачи показывают, что при воспроизведении частот до 5 000 *гц* нелинейные искажения не заметны, если клирфактор не превышает 10%. Практически неискаженная передача получается при коэффициенте нелинейных искажений, достигающем 14 ÷ 15%, причем во время передачи речи искажения заметны при меньшем проценте гармоник, чем при передаче музыки. Приведенные цифры относятся к случаю, когда воспроизводятся наиболее громкие звуки, участвующие в передаче (громкая музыка, выкрики и т. п.), т. е. в те моменты, когда громкоговоритель получает от усилителя максимальную мощность. В этом легко убедиться практически, слушая радиопередачу с большой громкостью: хрипы и дребезжания получаются при самых сильных звуках. При этом говорят, что громкоговоритель «перегружается».

Выше мы говорили, что нелинейные искажения создаются как усилителем, так и громкоговорителем. Нелинейные иска-

жения, создаваемые громкоговорителем, даются для максимальных мощностей, на которые эти громкоговорители рассчитаны. Так, при максимальной мощности, равной 1,5 *вт*, на которую рассчитан динамик 1ГДМ-1,5, при максимальной мощности 3 *вт*, на которую рассчитан динамик 2ГДМ-3, и при расчетных максимальных мощностях 0,35 *вт* и 0,25 *вт* соответственно для динамиков 0,35ГД и ДАГ-1 все эти громкоговорители вносят в передачу нелинейные искажения с коэффициентом около 7% при условии, что усилитель подает на них передачу абсолютно без нелинейных искажений (синусоидальное переменное напряжение, не содержащее гармоник). При меньшей подведенной к громкоговорителю мощности создаваемые им нелинейные искажения уменьшаются.

Если же к громкоговорителю подводится передача, уже обладающая нелинейными искажениями, то громкоговоритель «добавляет» в передачу свои нелинейные искажения, и коэффициент нелинейных искажений усилителя вместе с громкоговорителем получается большим, чем у каждого из них в отдельности.

Для получения полной величины коэффициента нелинейных искажений нельзя просто арифметически складывать клирфактор усилителя с клирфактором громкоговорителя, так как здесь изменение клирфактора происходит по более сложному закону. Если, например, клирфактор усилителя равен 10%, а клирфактор громкоговорителя равен 7%, то общий клирфактор не будет равен 17%, а составит практически меньшую величину. Кроме того, общая величина коэффициента нелинейных искажений воспроизводимой передачи зависит от нелинейных искажений, вносимых другими элементами тракта радиопередачи: микрофоном в студии, усилителем студии, передающей радиовещательной станцией, детектором радиоприемника и т. п. Все эти элементы также создают гармоники.

Нужно отметить, что кристаллический детектор вносит значительно меньшие нелинейные искажения, чем детектор с электронной лампой. Поэтому передача детекторного приемника звучит гораздо приятнее, чем передача от лампового приемника.

Чтобы суммарные нелинейные искажения воспроизводимой передачи не превышали максимально допустимой цифры 14 ÷ 15%, необходимо, чтобы клирфактор усилителя был бы не более 7 ÷ 10%.

Наибольшую мощность, которую усилитель отдает громко-

говорителю при таком клирфакторе, обычно условно называют *максимальной неискаженной мощностью.*

**Условия получения минимальных нелинейных искажений при усилении.** Из высказанного выше соображения, что с уменьшением мощности, подведенной к громкоговорителю, создаваемые им нелинейные искажения уменьшаются, рекомендуется применять динамические громкоговорители, рассчитанные на бо́льшую мощность, чем это необходимо. Так, например, для комнаты средних размеров достаточно иметь громкоговоритель, обладающий максимальной мощностью 0,5 *вт* или даже 0,25 *вт*. Однако желательно использовать $1^1/_2$-ваттный динамик типа 1ГДМ-1,5 или еще лучше динамик 2ГДМ-3, рассчитанный на 3 *вт*. Такие динамики, если к ним подвести, например, мощность 0,5 *вт*, будут создавать значительно меньшие нелинейные искажения, чем, например, динамический громкоговоритель типа ДАГ-1, для которого эта мощность является предельной.

Из тех же соображений желательно иметь усилитель, способный отдать мощность больше необходимой для получения звучания с желательной громкостью. Практически для комнаты средних размеров нужно строить усилитель с максимальной мощностью 1 *вт* или больше. Заставляя его работать с неполной отдачей мощности, мы подадим на громкоговоритель передачу с малыми нелинейными искажениями.

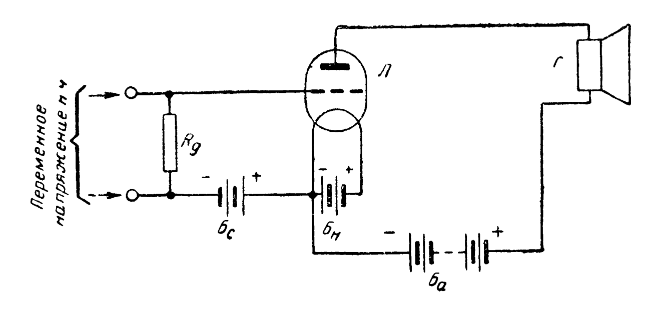
## 3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

Принцип работы электронной лампы в усилителе заключается в следующем. От действия переменного напряжения сигнала в цепи сетки электронной лампы (триода, лучевого тетрода или пентода) возникают пульсации анодного тока лампы с частотой напряжения, подведенного к цепи сетки. Если в анодную цепь лампы (фиг. 3), в цепи сетки которой действует переменное напряжение низкой частоты, включить, например, электромагнитный громкоговоритель *Г*, то пульсирующий анодный ток, проходя по обмотке громкоговорителя, будет изменять намагничивание ее сердечников с частотой переменного напряжения, подведенного к сетке лампы. Вследствие этого железный якорь, находящийся между полюсами этих сердечников, начнет колебаться с той же частотой, приведет в колебание диффузор громкоговорителя, и он будет издавать звук. Громкоговоритель работает за счет энергии анодной батареи.

**Режим работы лампы.** Чтобы получить на электромагнитном громкоговорителе (фиг. 3) напряжение, значительно большее, чем напряжение, действующее в цепи сетки лампы, и в конечном счете дать громкоговорителю возможно бо́льшую мощность и заставить его возможно громче звучать при минимальных нелинейных искажениях, необходимо обеспечить определенный режим работы лампы, а именно:

1. Подать на нить накала лампы нормальное напряжение накала.

2. Подать на анод лампы необходимое положительное напряжение.




Фиг. 3. Включение электромагнитного громкоговорителя в анодную цепь триода.

3. Подать на управляющую сетку соответствующее отрицательное напряжение смещения.

4. Подать в цепь управляющей сетки лампы переменное напряжение низкой частоты такой величины, чтобы при самых громких звуках амплитуда этого напряжения была бы равна (но не превышала) напряжению отрицательного смещения.

Мощность, которую может получить громкоговоритель из анодной цепи лампы, возрастает при увеличении постоянного анодного напряжения, даваемого источником питания (батареей или выпрямителем), и при увеличении напряжения низкой частоты, вводимого в цепь управляющей сетки лампы; наоборот, при уменьшении анодного напряжения, напряжения накала и переменного напряжения в цепи сетки получаемая громкоговорителем мощность уменьшается.

Нелинейные искажения невелики до тех пор, пока изменения анодного тока лампы почти пропорциональны изменениям переменного напряжения на управляющей сетке. Как

уменьшение, так и увеличение сверх нормы отрицательного смещения на управляющей сетке приводит к увеличению нелинейных искажений. Кроме того, при недостаточно большом отрицательном смещении анодный ток лампы может возрасти до такой величины, что мощность, рассеиваемая на аноде, превысит максимально допустимую для данной лампы, анод ее сильно накалится и лампа выйдет из строя.

При всех прочих равных условиях мощность, отдаваемая громкоговорителю, пропорциональна квадрату величины переменного напряжения, действующего в цепи сетки. Однако при увеличении сверх нормы переменного напряжения низкой частоты на сетке квадратичная зависимость пропадает, мощность растет медленнее с одновременным значительным увеличением нелинейных искажений. Это получается потому, что при недопустимо больших амплитудах изменение анодного тока становится непропорциональным изменениям переменного напряжения в цепи управляющей сетки. При достижении же некоторой величины переменного напряжения на управляющей сетке рост мощности совсем прекращается, а нелинейные искажения делаются настолько значительными, что передача делается неразборчивой.

Кроме того, для получения необходимой неискаженной мощности очень важно, чтобы громкоговоритель обладал достаточно большим сопротивлением для токов низких (звуковых) частот.

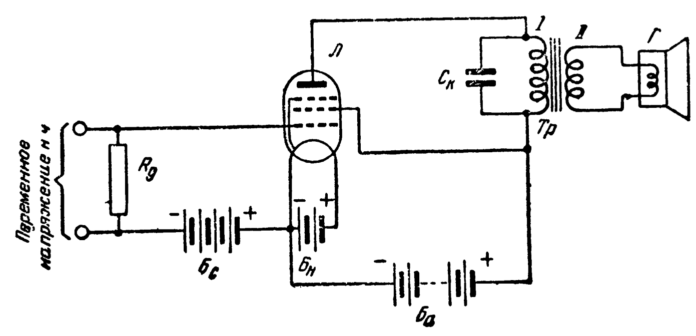
При некотором *оптимальном* (наивыгоднейшем) сопротивлении можно было бы получить от лампы данного типа при данном режиме ее работы наибольшую неискаженную мощность.

Различным режимам работы лампы, главным образом различным анодным напряжениям и соответствующим им напряжениям отрицательного смещения на сетке, соответствуют различные оптимальные величины нагрузочного сопротивления. Они обычно имеют порядок нескольких тысяч ом.

Однако сопротивление громкоговорителя почти ни при каких условиях не получается равным этой желательной величине. Обмотка электромагнитного громкоговорителя обладает омическим сопротивлением в несколько тысяч ом (чаще всего около 2 000 *ом*), но для токов низкой частоты сопротивление громкоговорителя больше, чем для постоянного тока. Для различных частот оно может быть и больше и меньше оптимального нагрузочного сопротивления лампы, и громкоговоритель поэтому сможет получить меньшую неискаженную мощ-

ность, чем можно было бы получить теоретически при оптимальной величине нагрузочного сопротивления. У громкоговорителя типа «Рекорд» сопротивление в воспроизводимой им полосе частот обычно больше оптимального нагрузочного сопротивления почти всех ламп, применяемых для работы на громкоговоритель.

Необходимо отметить, что при увеличении сопротивления громкоговорителя в схеме фиг. 3 вместе с уменьшением мощности уменьшаются и нелинейные искажения. Наоборот, если сопротивление громкоговорителя будет меньше оптимального, нелинейные искажения увеличиваются.




Фиг. 4. Включение динамика через выходной трансформатор в анодную цепь пентода.

**Включение динамика.** Включение в схему усилителя динамического громкоговорителя производится всегда через трансформатор *Тр* (фиг. 4), носящий название выходного трансформатора. Первичная обмотка *I* трансформатора включается в анодную цепь лампы, а его вторичная обмотка *II* соединяется с подвижной (звуковой) катушкой динамического громкоговорителя (динамика). В этом случае пульсирующий анодный ток лампы, вызванный переменным напряжением в цепи сетки, проходя по первичной обмотке трансформатора, создает на ней переменное напряжение и индуктирует во вторичной обмотке трансформатора переменный ток. Последний проходит по подвижной катушке динамика и возбуждает вокруг ее витков переменное магнитное поле. Это поле, взаимодействуя с постоянным магнитным полем, в котором помещена звуковая катушка, приводит ее и скрепленный с нею диффузор в колебание с частотой проходящего через нее переменного тока, и динамик воспроизводит звук.

**Необходимость в выходном трансформаторе.** Выясним вопрос: почему динамик включается всегда с трансформатором? Дело в том, что для получения громкоговорителем максимальной мощности от лампы он должен обладать некоторым оптимальным сопротивлением, имеющим величину порядка тысяч ом. Звуковая же катушка динамика имеет сопротивление всего в несколько ом. Очевидно, что если включить ее непосредственно в анодную цепь лампы, то проходящий через нее пульсирующий анодный ток лампы отдаст ей такую ничтожную мощность, что динамик будет звучать чрезвычайно слабо. Практически схема будет давать не усиление, а ослабление передачи.

Если же включить в анодную цепь лампы первичную обмотку выходного трансформатора, на вторичную обмотку которого включена звуковая катушка динамика, то сопротивление переменному току, получающееся между концами первичной обмотки будет больше, чем сопротивление подвижной (звуковой) катушки, в число раз, равное квадрату отношения числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки. Таким образом, построив трансформатор с соответствующим отношением чисел витков обмоток, можно получить в анодной цепи лампы оптимальную нагрузку при данном сопротивлении звуковой катушки динамика, обеспечив таким образом получение от лампы максимально возможной неискаженной мощности. Некоторая часть этой мощности ($10 \div 20\%$) будет поглощена трансформатором — пойдет на нагревание его обмоток и сердечника, т. е. будет бесполезно потеряна, а остальную мощность получит звуковая катушка динамика.

Приведем простой численный пример. Звуковая катушка динамика имеет сопротивление 4 *ом*, а оптимальное нагрузочное сопротивление лучевого тетрода 30П1М равно 2 000 *ом* (см. табл. 1). Применяем трансформатор, первичная обмотка которого имеет в 22 раза больше витков, чем вторичная обмотка. Тогда сопротивление трансформатора переменному току со стороны первичной обмотки будет $4\ ом \times 22^2 \approx 2\ 000\ ом$, т. е. будет равно оптимальному нагрузочному сопротивлению лампы. Если на этом сопротивлении получится мощность 2 *вт* (см. табл. 1), то за вычетом потерь в трансформаторе звуковая катушка динамика получит мощность $1{,}6 \div 1{,}8$ *вт*. При другом отношении витков обмоток трансформатора сопротивление нагрузки для лампы получится иным и условие получения этой мощности с наименьшими нелинейными искажения-

Таблица 1

**Рабочие режимы электронных ламп для оконечных каскадов**

| Обозначение лампы | Система лампы | Напряжение накала | Сила тока накала | Напряжение на аноде | Напряжение на экранирующей сетке | Смещение на управляющей сетке | Амплитуда переменного напряжения на управляющей сетке | Анодный ток | Ток экранирующей сетки | Оптимальное сопротивление нагрузки | Отдаваемая мощность | Клирфактор | Максимальная мощность, рассеиваемая анодом |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *в* | *ма* | *в* | *в* | *в* | *в* | *ма* | *ма* | *ом* | *вт* | % | *вт* |
| 6Ф6 | Пентод | 6,3 | 700 | 250 | 250 | —16,5 | 16,5 | 35 | 7,5 | 7 000 | 3 | 8,5 | 10 |
| 6Ф6С | | | | 315 | 315 | —22 | 22 | 43 | 8 | 7 000 | 5 | 7 | |
| 6Ф6М | | | | | | | | | | | | | |
| 6V6G | Лучевой тетрод | 6,3 | 450 | 250 | 250 | —12,5 | 12,5 | 45 | 4,5 | 5 000 | 4,2 | 8 | 12 |
| 6Л6 | Лучевой тетрод | 6,3 | 900 | 250 | 250 | —14 | 14 | 75 | 5 | 2 500 | 6 | 10 | 20 |
| 6Л6С | | | | 300 | 200 | —12,5 | 12,5 | 50 | 3 | 4 500 | 5,5 | 9 | |
| 6П3 | | | | | | | | | | | | | |
| 30П1М | Лучевой тетрод | 30 | 300 | 110 | 110 | —7,5 | 7,5 | 45 | 4 | 2 000 | 2 | 10 | 10 |

ми при данном режиме лампы не сможет быть выполнено. Выходные трансформаторы под динамики делаются всегда понижающими.

**Конструктивные данные выходных трансформаторов.** Для передачи энергии из анодной цепи на динамик с возможно меньшими потерями и во избежание возникновения в трансформаторе дополнительных искажений должны быть правильно выбраны следующие данные выходного трансформатора: сечение сердечника и зазор в нем, диаметры проводов и числа витков обмоток. Все эти данные выбираются из такого расчета, чтобы индуктивное сопротивление первичной обмотки при самой низкой частоте полосы пропускания было по крайней мере в 2 раза больше нагрузочного сопротивления пентода или лучевой лампы (при соответствующем коэффициенте трансформации). При этом условии напряжение на первичной обмотке при самой низкой частоте полосы составит не менее 90% от напряжения на средних частотах воспроизводимой полосы (при одинаковых переменных напряжениях, подведенных к сетке на всех частотах) и соответственно мощность,

отдаваемая на самой низкой частоте полосы пропускания, составит не меньше 80% от мощности на средних частотах. Диаметры обмоточных проводов выбираются из такого расчета, чтобы проходящие по обмоткам токи не вызывали сильного их нагрева.

В усилителях, рассчитанных на отдачу мощности динамику в $1 \div 2$ *вт*, указанные условия обеспечиваются изготовлением трансформаторов с Ш-образными сердечниками, имеющими сечение в несколько квадратных сантиметров. Первичные обмотки таких трансформаторов наматываются из провода диаметром около $0{,}1 \div 0{,}2$ *мм* и имеют по несколько тысяч витков, а вторичные обмотки наматываются из провода диаметром $0{,}6 \div 1$ *мм* или несколько толще и имеют по несколько десятков витков.

Необходимо отметить, что с целью получения оптимального нагрузочного сопротивления для лампы выходной трансформатор применяется иногда и при включении в усилитель электромагнитного громкоговорителя. При таком включении мы избегаем также прохождения постоянного анодного тока лампы через тонкую обмотку громкоговорителя, предохраняя таким образом ее от возможности сжигания этим током, если он имеет сравнительно большую силу для провода обмотки.

Совершенно необходимо также применение выходных трансформаторов в усилителях, работающих на радиотрансляционных узлах. В этих случаях выходные трансформаторы, во-первых, позволяют обеспечить необходимые нагрузочные сопротивления усилительных ламп, а во-вторых, исключают возможность прохождения постоянного тока высокого анодного напряжения по радиотрансляционным линиям.

**Корректирующий конденсатор.** Параллельно первичной обмотке выходного трансформатора обычно включается конденсатор $C_к$ (фиг. 4). Назначение его состоит в следующем. Сопротивление выходного трансформатора с громкоговорителем переменному току возрастает с увеличением частоты. На самых высоких частотах пропускаемой полосы это увеличение сопротивления наиболее значительно. Из-за этого при отсутствии конденсатора $C_к$ с увеличением частоты возрастает напряжение на выходном трансформаторе и заметно увеличивается громкость воспроизведения наиболее высоких частот.

Сопротивление конденсатора, как известно, наоборот, уменьшается с увеличением частоты подведенного к нему переменного напряжения. Благодаря этому свойству конденсатора включением его параллельно первичной обмотке выход-

ного трансформатора можно выравнять изменения величины нагрузочного сопротивления лампы в пределах пропускаемой полосы частот. Если применить конденсатор емкостью в несколько тысяч пикофарад, его сопротивление для токов наиболее низких частот усиливаемой частоты будет настолько велико, что оно практически не будет создавать добавочной нагрузки для лампы; нагрузочное сопротивление лампы практически будет определяться трансформатором с динамиком. С увеличением же частоты, вследствие совместного увеличения сопротивления трансформатора с динамиком и уменьшения сопротивления конденсатора, общее сопротивление анодной нагрузки лампы будет мало изменяться в пределах усиливаемой полосы частот и переменное напряжение на обмотках трансформатора при различных частотах будет более постоянно.

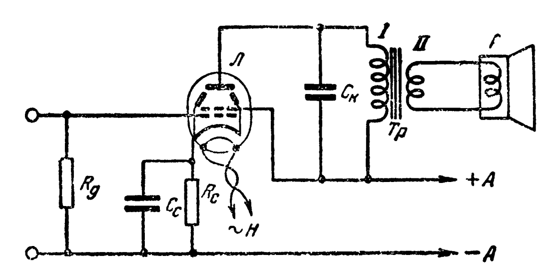
При включении в схему фиг. 4 лучевого тетрода последняя не меняется.

Усилитель с применением триода невыгоден тем, что для получения от него необходимой мощности на сетку триода нужно подавать бо́льшую амплитуду переменного напряжения низкой частоты, чем в случае пентода или лучевого тетрода.

**Схема с автоматическим смещением.** На фиг. 5 дан вариант схемы фиг. 4, отличающийся от последней тем, что в ней применен лучевой тетрод и отсутствует батарея $Б_c$, подающая смещение на управляющую сетку. Схема фиг. 5 называется схемой усилителя с автоматическим смещением на управляющую сетку. Проследим по схеме, каким образом сетка лампы получает смещение без использования специальной батареи. Здесь между отрицательным полюсом источника анодного напряжения — $A$ и катодом лампы включено сопротивление $R_c$, через которое протекает суммарный ток анода и экранирующей сетки лампы, создавая на нем падение напряжения. При этом на конце сопротивления $R_c$, соединенном с катодом будет плюс, а на конце, соединенном с минусом источника анодного напряжения, а также с управляющей сеткой лампы через сопротивление $R_g$, будет минус по отношению к катоду лампы. Следовательно, управляющая сетка лампы будет получать отрицательное напряжение по отношению к ее катоду. Величина этого напряжения может быть по желанию выбрана подбором сопротивления $R_c$.

Вычисление необходимой величины сопротивления $R_c$ может быть произведено по закону Ома, т. е. путем деления

напряжения, которое нужно получить на этом сопротивлении, на силу тока, протекающего через него. Как мы уже говорили выше, этот ток является суммой токов анода и экранирующей сетки. Предположим, что для применяемого в схеме пентода 6Ф6 при анодном напряжении 250 *в* нужно иметь смещение на управляющей сетке, равное 16,5 *в*. Анодный ток лампы равен 34 *ма*, ток экранирующей сетки 7 *ма*, и, следовательно, общий ток через сопротивление $R_c$ будет 41 *ма*. Определяем необходимую величину $R_c$ делением 16,5 *в* на 41 *ма*. Получаем, что $R_c \approx 400$ *ом*. Если токи через лампу будут иметь другую величину, соответственно придется взять другой величины и сопротивление $R_c$.




Фиг. 5. Усилитель на лучевом тетроде с автоматическим смещением на управляющую сетку.

Сопротивление $R_c$ (фиг. 5) называется «сопротивлением автоматического смещения» или кратко «сопротивлением смещения».

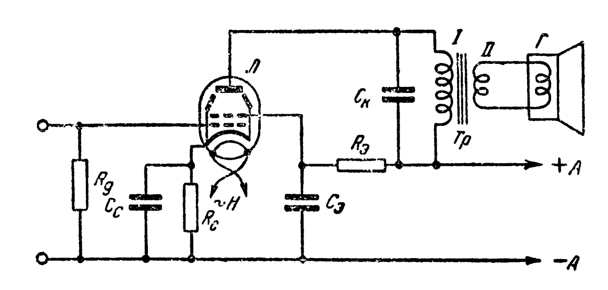
Параллельно сопротивлению смещения $R_c$ (фиг. 5), как правило, включается конденсатор $C_c$ емкостью порядка десятков микрофарад. Такой конденсатор обладает малым сопротивлением для токов низкой частоты, и поэтому переменная слагающая анодного тока создает ничтожное переменное напряжение на участке цепи между катодом и минусом анодного напряжения, и на этом участке теряется небольшая мощность колебаний низкой частоты. Если бы конденсатора $C_c$ не было, на сопротивлении $R_c$ получалось бы от проходящего через него пульсирующего анодного тока более значительное переменное напряжение, что привело бы к значительному уменьшению мощности, отдаваемой усилителем громкоговорителю.

Включение сопротивления смещения в случаях примене-

ния пентода или триода ничем не отличается от показанного на схеме фиг. 5.

**О напряжении на экранирующей сетке.** Необходимо указать, что при использовании в усилителе пентода или лучевого тетрода отдаваемая мощность зависит также от постоянного напряжения на экранирующей сетке. Наибольшая мощность получается обычно в том случае, когда напряжение на экранирующей сетке равно анодному напряжению или несколько меньше последнего.

Если экранирующая сетка соединяется непосредственно с плюсом источника анодного напряжения (фиг. 4 и 5), на ней практически получается постоянное напряжение несколько




Фиг. 6. Включение сопротивления для понижения напряжения на экранирующую сетку.

более высокое, чем постоянное напряжение на аноде лампы, так как часть постоянного напряжения теряется на первичной обмотке выходного трансформатора. Для получения на экранирующей сетке напряжения, равного действительному напряжению на аноде или несколько меньше последнего, в цепь экранирующей сетки включают сопротивление $R_э$ (фиг. 6) величиной в несколько тысяч ом. За счет прохождения через это сопротивление тока экранирующей сетки на нем падает часть напряжения.

Схема фиг. 6 имеет еще одно преимущество по сравнению со схемами фиг. 4 и 5 при питании от выпрямителя. В схеме фиг. 6 сопротивление $R_э$ совместно с конденсатором $C_э$ играет роль дополнительной ячейки фильтра, сглаживающего пульсации выпрямленного напряжения, подаваемого на экранирующую сетку. Вследствие этого в схеме фиг. 6 на экранирующую сетку лампы поступает напряжение с меньшими пульсациями, чем в схеме фиг. 5; пульсации анодного тока по

этой причине уменьшаются, и фон переменного тока в громкоговорителе прослушивается слабее.

**Предварительное усиление.** Из табл. 1 мы видели, что для получения от той или иной лампы максимальной мощности необходимо подать на ее сетку переменное напряжение низкой частоты с амплитудным значением примерно от 7 до 20 *в*. Такие напряжения можно практически получить от одноламповото регенеративного приемника только при приеме близко расположенных радиовещательных станций.

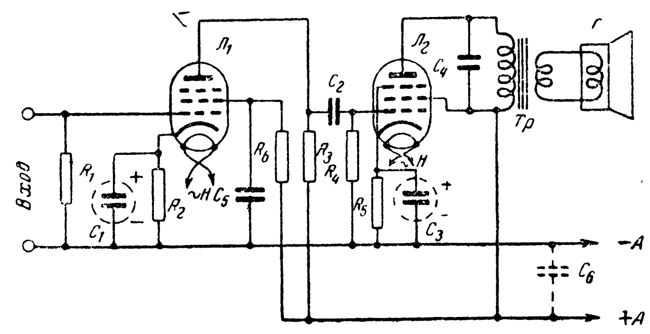
При приеме местных станций на детекторный приемник и при приеме дальних станций на одноламповый приемник после детектирования получаются, как правило, значительно меньшие напряжения — порядка десятых долей вольта или еще меньше. Максимальные напряжения, получаемые от граммофонных адаптеров, также имеют величину порядка десятых долей вольта.

Если такие небольшие напряжения, получаемые от детектора (кристаллического или лампового), подать непосредственно в цепь управляющей сетки какой-либо из ламп, перечисленных в табл. 1, то в анодной цепи этой лампы получится мощность переменного тока значительно меньше мощности, требуемой громкоговорителем и последний будет работать недостаточно громко. (Мы уже говорили на стр. 15, что мощность, отдаваемая лампой, изменяется прямо пропорционально квадрату переменного напряжения низкой частоты, поступающего в цепь управляющей сетки.)

В связи с этим возникает необходимость увеличить (усилить) эти малые напряжения, поступающие от детектора, до величины, требуемой для цепи управляющей сетки оконечной лампы, отдающей мощность громкоговорителю. Эта задача может быть выполнена с помощью второй, дополнительной, лампы, введенной в схему усилителя. Такая лампа носит название лампы *предварительного усиления*, а часть схемы, в которую входит эта лампа, носит название каскада предварительного усиления или кратко — *предварительного каскада*. Та же лампа в анодную цепь которой включается громкоговоритель или выходной трансформатор с громкоговорителем, называется *оконечной лампой*, и соответственно часть схемы, содержащая эту лампу вместе с сопротивлением смещения, выходным трансформатором и другими относящимися к ее цепям деталями, носит название *оконечного* или *мощного каскада* усиления. Весь усилитель в целом, содержащий кас-

кад предварительного и каскад оконечного усиления, носит название *двухкаскадного усилителя.*

**Предварительный каскад на сопротивлениях.** Одна из наиболее распространенных и в то же время одна из простейших схем двухкаскадного усилителя показана на фиг. 7. Здесь $Л_2$ обозначена оконечная лампа, а $Л_1$ — лампа предварительного усиления, получающая переменное напряжение низкой




Фиг. 7. Схема двухкаскадного усилителя.

частоты в цепь управляющей сетки[1] от детектора или граммофонного адаптера, увеличивающая (усиливающая) это напряжение и передающая его из своей анодной цепи в цепь управляющей сетки лампы $Л_2$. В схеме фиг. 7 к каскаду предварительного усиления относятся сопротивления $R_1$, $R_2$, $R_3$, $R_4$ и $R_6$ и конденсаторы $C_1$, $C_2$ и $C_5$, а к каскаду оконечного усиления — сопротивление $R_5$, конденсаторы $C_3$ и $C_4$ и трансформатор *Тр*; роль и работа последних будут ясны, если сопоставить эту часть схемы фиг. 7 со схемой фиг. 5.

Отрицательное смещение на управляющую сетку лампы $Л_1$ каскада предварительного усиления в схеме фиг. 7 подается автоматически с помощью сопротивления $R_2$, шунтированного конденсатором $C_1$, так же, как и на управляющую сетку лампы $Л_2$ оконечного каскада.

В предварительном каскаде может быть применен триод вместо пентода. В этом случае в схеме фиг. 7 не нужен конденсатор $C_5$ и сопротивление $R_6$, входящие в цепь экранирующей сетки.

---

[1] О способах включения напряжений низкой частоты с кристаллического детектора, лампового детектора или с граммофонного адаптера подробнее указано ниже.

**Коэффициент усиления предварительного каскада.** Число, показывающее, во сколько раз переменное напряжение низкой частоты в цепи сетки лампы $Л_2$ оконечного каскада больше переменного напряжения в цепи сетки лампы $Л_1$ предварительного каскада, носит название коэффициента усиления предварительного каскада. Если, например, от детектора в цепь сетки лампы $Л_1$ (фиг. 7) поступает переменное напряжение низкой частоты с амплитудой 0,1 *в*, а в цепи сетки лампы $Л_2$ нужно получить переменное напряжение с амплитудой 7 *в*, то коэффициент усиления предварительного каскада должен быть $\frac{7}{0,1} = 70$.

Отметим, что коэффициент усиления каскада всегда меньше коэффициента усиления лампы, указываемого в справочниках. Так, например, при применении в схеме фиг. 7 пентода типа 6Ж7 в зависимости от применяемого анодного напряжения и величин сопротивлений, входящих в схему, можно получить коэффициент усиления от 85 до 350 (статический коэффициент усиления пентода 6Ж7 равен 1 200 ÷ 1 500). Триод даст в тех же условиях меньшее усиление. Так, например, с триодом 6Ф5 или 6Ф5С каскад даст коэффициент усиления 45 ÷ 65 (в то время как статический коэффициент усиления лампы равен 100).

Тип лампы предварительного каскада и величины входящих в него сопротивлений должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы при самом малом переменном напряжении низкой частоты, которое предполагается усиливать, получился бы коэффициент усиления, обеспечивающий необходимое переменное напряжение в цепи сетки лампы $Л_2$ оконечного каскада.

**Действие предварительного усилителя.** Переменное напряжение низкой частоты от детектора или граммофонного адаптера вводится в цепь управляющей сетки лампы $Л_1$ (зажимы «вход» — фиг. 7). От действия этого напряжения анодный ток лампы $Л_1$ делается пульсирующим. Проходя по сопротивлению $R_3$, пульсирующий ток создает на нем пульсирующее напряжение.

Как видно из схемы фиг. 7, верхний конец сопротивления $R_3$ (анод лампы $Л_1$) соединен с верхним концом сопротивления $R_4$ и с сеткой лампы $Л_2$ через конденсатор $C_2$, а нижний конец сопротивления $R_3$ соединен через источник анодного питания (включенный между точками, обозначенными $+A$ и $-A$) с нижним концом сопротивления $R_4$. Заметим, что

внутреннее сопротивление анодной батареи обычно очень невелико. При питании усилителя от выпрямителя переменного тока нижние концы сопротивлений $R_3$ и $R_4$ соединены через конденсатор фильтра выпрямителя, включение которого обозначено на фиг. 7 пунктиром. Последний всегда имеет большую емкость и, следовательно, ничтожное сопротивление токам низкой частоты. Включение конденсатора $C_6$, показанное на фиг. 7, часто применяется также и при батарейном питании усилителя.

Учитывая только что изложенное, можно считать, что нижние концы сопротивлений $R_3$ и $R_4$ для токов низкой частоты соединены между собой практически накоротко, и, следовательно, сопротивление $R_4$ для низкочастотных токов включено параллельно сопротивлению $R_3$. Поэтому переменное напряжение, возникшее за счет пульсаций анодного тока на сопротивлении $R_3$, будет действовать также на сопротивлении $R_4$ и в цепи управляющей сетки лампы $Л_2$, в которую входит сопротивление $R_4$.

**Выбор величин сопротивлений.** Мы уже говорили, что коэффициент усиления предварительного каскада зависит от величины анодного напряжения и от значения сопротивлений, входящих в схему. Чем больше будут сопротивления $R_3$ и $R_4$ и чем выше будет анодное напряжение, тем больше получается коэффициент усиления. Однако практически сопротивление $R_3$ применяется величиной не более 0,5 *мгом*, а сопротивление $R_4$ — не более 1 *мгом*. Напряжение анодного питания для ламп типа 6Ж7 и 6Ф5 допустимо не более 300 *в*. Кроме того, коэффициент усиления каскада зависит от смещения на управляющей сетке или, другими словами, от величины сопротивления смещения $R_2$. В случае применения в предварительном каскаде пентода коэффициент усиления каскада в большой степени зависит от величины напряжения на экранирующей сетке. Последнее должно быть значительно меньше напряжения источника анодного питания. Для осуществления этого условия экранирующая сетка лампы $Л_1$ (фиг. 7) подключается к положительному полюсу источника анодного напряжения через сопротивление $R_6$. Через последнее проходит ток экранирующей сетки, создавая на нем значительное падение напряжения, и на экранирующей сетке в результате получается пониженное напряжение. Практически для получения наибольшего усиления каскада $R_6$ должно иметь величину от 0,5 до 3 *мгом* в зависимости от напряжения источника анодного питания и величины сопротивления $R_3$.

**Выбор емкости конденсатора $C_2$.** От емкости конденсатора $C_2$ зависит равномерность усиления частот в пределах пропускаемой полосы. Для переменного тока самой низкой частоты полосы пропускания конденсатор $C_2$ должен иметь емкостное сопротивление значительно меньшее, чем сопротивление $R_4$ в цепи управляющей сетки лампы оконечного каскада. Тогда на нем при этой частоте будет сравнительно небольшое падение переменного напряжения и переменная слагающая напряжения, получившегося на сопротивлении $R_3$, почти полностью поступит в цепь сетки лампы $Л_2$. Для более высоких частот это условие, очевидно, тем более будет выполняться, так как с увеличением частоты емкостное сопротивление конденсатора уменьшается. Для того, чтобы на частоте 100 *гц* усиление не понижалось больше, чем на $20 \div 30\%$, по сравнению с усилением на средних частотах полосы, при сопротивлении $R_4 = 0{,}47 \div 0{,}68$ *мгом* конденсатор $C_2$ должен иметь емкость не менее $5\,000 \div 8\,000$ *пкф*. Разница в усилении различных частот на $20 \div 30\%$ практически не ощутима.

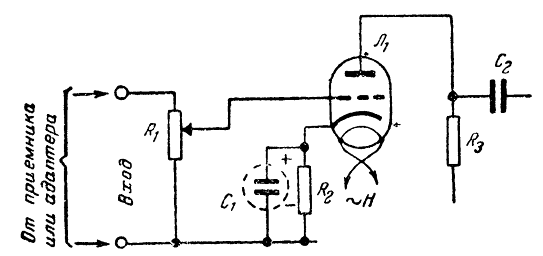
**Требование к изоляции конденсатора $C_2$.** Кроме того, к конденсатору $C_2$ (фиг. 7) предъявляется следующее важное требование. Он должен обладать очень большим сопротивлением изоляции (для постоянного тока), чтобы не пропустить на управляющую сетку оконечной лампы $Л_2$ постоянного положительного потенциала из анодной цепи лампы $Л_1$. При этом условии постоянное смещение на сетке лампы $Л_2$ будет определяться только падением напряжения на сопротивлении смещения $R_5$. Если же конденсатор $C_2$ будет обладать значительной утечкой, проникший через него на управляющую сетку лампы $Л_2$ положительный потенциал не только приведет к искажениям, но может явиться причиной выхода из строя лампы $Л_2$ вследствие возрастания ее анодного тока до такой величины, при которой мощность, рассеиваемая анодом, превысит допустимую.

**Регулятор усиления.** Выше мы говорили, что при приеме радиовещательных станций в различных условиях от приемников получаются различные по величине напряжения низкой частоты. При проигрывании адаптером разных граммофонных пластинок также получаются различные напряжения на входе усилителя: одни пластинки записаны «громче», другие «тише».

Очевидно, что при более громком приеме или при прослушивании «громких» граммофонных пластинок в цепи сетки лампы оконечного каскада возникнут при этом условии на-

пряжения, значительно бо́льшие, чем это необходимо для получения максимальной неискаженной мощности. В результате звучание передачи в громкоговорителе будет чрезмерно громким и со значительными нелинейными искажениями.

Чтобы получить нормальную работу громкоговорителя и в этих условиях, а также чтобы иметь возможность по желанию слушать передачу с пониженной громкостью, в схему усилителя добавляется *регулятор усиления*, иначе называемый часто регулятором громкости. В простейшем виде регулятор усиления представляет собой потенциометр. На концы потенциометра $R_1$ подается напряжение низкой частоты от приемника или граммофонного адаптера (фиг. 8). Один конец потенциометра $R_1$ соединяется с катодом лампы $Л_1$ предвари-




Фиг. 8. Схема включения регулятора усиления.

тельного каскада (при автоматическом смещении через сопротивление и конденсатор смещения, как показано на фиг. 8), а движок потенциометра — с сеткой той же лампы.

Когда сигналы, поступающие от приемника, слабы (или проигрывается граммофонная пластинка с тихой записью), движок потенциометра $R_1$ устанавливается в самое верхнее положение, и при этом в цепь сетки лампы $Л_1$ поступает полное переменное напряжение, получаемое от источника. Если же на концах потенциометра будет напряжение больше необходимой величины, движок потенциометра $R_1$ нужно передвинуть вниз. При этом в цепь сетки лампы $Л_1$ поступит только часть напряжения низкой частоты, получаемого потенциометром, а именно падающая на его участке между движком и нижним концом. Изменяя положение движка, можно найти такое его положение, при котором цепь сетки лампы $Л_1$ (а следовательно, и лампы $Л_2$) будет получать напряжение, необходимое для нормальной работы громкоговорителя, независимо от того, насколько больше «нормального» напря-

жение поступает от приемника или адаптера. Установка положения движка потенциометра осуществляется «на-слух» в такое положение, при котором передача получается достаточно громкой и без заметных искажений (дребезжаний).

При желании слушать передачу с пониженной громкостью, изменяя положение движка потенциометра, можно установить напряжение в цепи сетки лампы $Л_1$, обеспечивающее отдачу громкоговорителю мощности ниже максимальной.

**Выбор сопротивления регулятора усиления.** Если усилитель низкой частоты предназначается для работы от лампового радиоприемника, регулятор усиления $R_1$ лучше всего применить с сопротивлением 0,5 *мгом*. Результаты почти не изменятся, если применить любой потенциометр $R_1$ с сопротивлением от 0,25 до 1,0 *мгом*. Для работы от детекторного приемника потенциометр для регулирования усиления может быть взят меньшего сопротивления — 30 000 ÷ 50 000 *ом*. Для работы от граммофонного адаптера можно применять регуляторы усиления с любым из указанных выше сопротивлений, однако из соображений получения наибольшей громкости желательно применять потенциометры с сопротивлением не менее 0,1 *мгом*.

Для получения плавного регулирования громкости на всем диапазоне регулирования следует применять потенциометры, сопротивление которых меняется по логарифмическому закону в зависимости от положения его движка.

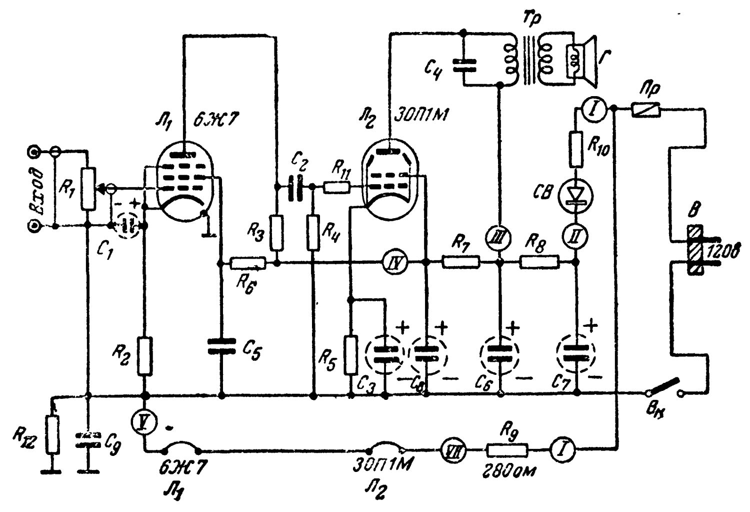
## 4. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Ниже мы описываем несколько вариантов усилителя низкой частоты с так называемым «универсальным питанием», т. е. такого усилителя, который может питаться как от электросетей переменного тока, так и от сетей постоянного тока. Основной особенностью схемы универсального питания является, как известно, последовательное включение нитей накала всех ламп, работающих в схеме, и подача напряжений на накал ламп и на анод выпрямителя непосредственно от сети. Отсутствие обычного для схем с питанием от переменного тока силового трансформатора значительно упрощает и удешевляет усилитель.

В усилителях (и приемниках) с универсальным питанием возможно применение так называемых барретоов с целью

стабилизации напряжения накала ламп при значительных изменениях напряжения в питающей электросети.

**Схема с селеновым выпрямителем.** На фиг. 9 дана принципиальная схема простого усилителя низкой частоты с питанием от сети переменного тока с напряжением 110 ÷ 127 *в*, предназначенного для усиления от детекторного или регенеративного приемника, а также от граммофонного адаптера. В предварительном каскаде этого усилителя работает пентод типа 6Ж7 [1] и в оконечном каскаде — лучевой тетрод типа




Фиг. 9. Принципиальная схема усилителя низкой частоты, питаемого от сети переменного тока, с применением селенового выпрямителя.

30П1М. При этих лампах усилитель может отдать громкоговорителю мощность до 0,8 ÷ 1 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений, не превышающем 10%.

Перечень деталей, входящих в схему усилителя, приведен в табл. 2. Так как назначение и действие основных цепей усилителя по схеме фиг. 9 ясно из разделов книги, изложенных выше [2], мы остановимся только на цепях питания этого усилителя.

---

[1] Вместо пентода 6Ж7 в каскаде предварительного усиления могут быть применены также пентод 6SJ7 и триоды типа 6Ф5 или 6Ж5-С.

[2] Для более удобной ориентировки читателя в схеме фиг. 9 приняты такие же обозначения деталей, как и в схемах фиг. 7 и 8. Теми же обозначениями мы будем пользоваться и в следующих схемах.

Таблица 2

**Детали усилителя низкой частоты по схеме фиг. 9 или фиг. 11**

| Обозначение в схеме | Наименование детали | Величина или тип | Количество |
|---|---|---|---|
| $Г$ | Громкоговоритель . . . | 2ГДМ-3, 1ГДМ-1,5 или ВЭФ ПЕР-45 | 1 |
| $Л_1$ | Лампа . . . . . . . . . | 6Ж7, 6SJ7 или 6Ф5 | 1 |
| $Л_2$ | Лампа . . . . . . . . . | 30П1М | 1 |
| $Л_3$ | Лампа[1] . . . . . . . . | 30Ц1М или 30Ц6С | 1 |
| $Л_4$ | Барретор[2] . . . . . . | 0,3Б17—35 или 0,3Б65—135 | 1 |
| $СВ$ | Селеновый выпрямительный столбик[3] . . . . | См. в тексте | 1 |
| $Тр$ | Выходной трансформатор . . . . . . . . . | » » » | 1 |
| $R_1$, $Вк$ | Потенциометр с выключателем . . . . . . . | » » » | 1 |
| $R_2$ | Сопротивление[4] . . . . | 2 700 *ом* ± 10%, 0,5 *вт* | 1 |
| $R_3$ | Сопротивление . . . . | 220 000 *ом* ± 20%, 0,5 *вт* | 1 |
| $R_4$ | Сопротивление . . . . | 470 000 ÷ 680 000 *ом* ± 20%, 0,25 *вт* | 1 |
| $R_5$ | Сопротивление . . . . | 120 *ом* ± 10%, 0,5 *вт* | 1 |
| $R_6$ | Сопротивление[5] . . . . | 1 *мгом* ± 10%, 0,5 *вт* | 1 |
| $R_7$ | Сопротивление . . . . | 1 000 *ом* ± 20%, 0,5 *вт* | 1 |
| $R_8$ | Сопротивление . . . . | 220 *ом* ± 20%, 1 *вт* | 1 |
| $R_9$ | Сопротивление . . . . | См. в тексте и в табл. 3 | 1 |
| $R_{10}$ | Сопротивление . . . . | 33 *ом* ± 20%, 0,25 *вт* | 1 |
| $R_{11}$ | Сопротивление[6] . . . . | См. в тексте и в табл. 4 | 1 |
| $C_1$, $C_3$ | Конденсаторы электролитические . . . . . | 20 *мкф*, 20 *в* | 2 |
| $C_2$ | Конденсатор слюдяной | 5 000 *пкф*, 200 *в* | 1 |
| $C_4$ | Конденсатор[7] . . . . . | 10 000 ÷ 30 000 *пкф* | 1 |
| $C_5$ | Конденсатор бумажный[5] | 0,05 ÷ 0,1 *мкф*, 200 *в* | 1 |
| $C_6$, $C_7$, $C_8$ | Конденсаторы электролитические . . . . . | 20 *мкф*, 150 *в* | 3 |

Продолжение табл. 2

| Обозначение в схеме | Наименование детали | Величина или тип | Количество |
|---|---|---|---|
| $C_9$ | Конденсатор бумажный | 0,1 *мкф*, 200 *в* | 1 |
| $C_{10}$ | Конденсатор . . . . . | 5 000 *пкф*, 250 *в* | 1 |
| *Пр* | Предохранитель Бозе | 1*а* | 1 |
| » | Держатель предохранителя Бозе . . . . . | — | 1 |
| *В* | Вилка штепсельная . . | — | 1 |
| *Вход* | Колодка штепсельная | На 2 гнезда | 1 |
| — | Панели ламповые[8] . . . | Октальные | 2÷4 |
| — | Алюминий или сталь листовая . . . . . . | Толщиной 1,5—2 *мм*, размером 230 × 320 *мм* | — |
| — | Гетинакс или эбонит листовой . . . . . . | 0,5 ÷ 1 *мм* | — |
| — | Гетинакс или эбонит листовой . . . . . . | 4 ÷ 5 *мм* | — |
| — | Провод монтажный . . | — | — |
| — | Шнур гибкий . . . . . | ШР | 1÷1,5 *м* |
| — | Экранирующий металлический чулок[9] . . . | — | 0,5 *м* |
| — | Болт с гайкой . . . . . | ⌀5÷4 *мм*, $l$ = 75 ÷ 80 *мм* | 1 |
| — | Винты с гайками . . . | ⌀4÷3 *мм*, $l$ = 10 ÷ 15 *мм* | 10 |
| — | Лепестки монтажные | — | 5 |
| — | Трубка кембриковая или линоксиновая . . . . | | |

[1] Только для усилителя по схеме фиг. 11.
[2] Применение не обязательно; см. в тексте.
[3] Только для усилителя по схеме фиг. 9.
[4] При использовании лампы 6Ф5 $R_2$ = 1 000 *ом* ± 10%, 0,5 *вт*.
[5] При работе с лампой 6Ф5 детали не нужны.
[6] Применяется только при питании от сети с напряжением 220 *в*.
[7] Подбирается при регулировании усилителя; см. в тексте.
[8] Для схемы с кенотронным выпрямителем и с бареттером необходимы четыре ламповых панели; для схемы с кенотроном без бареттора, а также в случае применения бареттора в схеме с селеновым выпрямителем нужны три панели, для схемы с селеновым выпрямителем без бареттора—две панели.
[9] Может быть заменен шнуром от телефонного коммутатора.

**Питание цепи накала.** Нити накала обеих ламп соединены последовательно, как показано в нижней части схемы фиг. 9. Нить накала лампы 6Ж7 требует, как известно, для нормального накала напряжение 6,3 *в* при силе тока 0,3 *а*, а нить накала лампы 30П1М требует 30 *в* при той же силе тока. Следовательно, общее напряжение накала соединенных последовательно ламп 6Ж7 и 30П1М должно быть 36,3 *в*. Так как напряжение сети больше этого напряжения, последовательно с нитями ламп включено сопротивление $R_9$, на котором гасится излишек напряжения.

Необходимая величина сопротивления $R_9$ определяется путем деления падающего на нем напряжения на силу тока, проходящего через него. В данном случае, при нормальном напряжении сети 120 *в*, на нем должно гаситься напряжение $120 - 36{,}3 = 83{,}7$ *в*. Для этого сопротивление должно иметь величину $83{,}7 : 0{,}3 = 279$ *ом* или, округляя, 280 *ом*. Рассеиваемая на сопротивлении мощность равна произведению квадрата силы тока на величину сопротивления, т. е. $0{,}3 \times 0{,}3 \times 280 = 25{,}2$ *вт*. Учитывая необходимость запаса, принимаем $26 \div 30$ *вт*.

При такой схеме при изменении напряжения в сети будет меняться сила тока через нити ламп и напряжение их накала. Увеличение напряжения накала сверх нормы сократит срок службы ламп, а значительное уменьшение приведет к уменьшению громкости работы динамика.

**Применение барретора.** Для того, чтобы при уменьшении напряжения в сети до 100 *в*, а также при увеличении ее напряжения сверх нормального в практически возможных пределах (до $130 \div 140$ *в*), напряжение накала ламп оставалось постоянным, что важно для сохранения в возможных пределах усиления и отдаваемой мощности громкоговорителю, при указанных колебаниях напряжения питающей сети последовательно с нитями накала ламп вместо сопротивления $R_9$ можно включить барретор $Л_4$ типа 0,3Б65—135 [1], как показано на схеме фиг. 10,*а*, которая представляет часть схемы фиг. 9.

[1] Барретор представляет собой стеклянный баллон, содержащий в себе нить накала, сопротивление которой уменьшается при уменьшении напряжения на ней и увеличивается при увеличении напряжения, поддерживая, таким образом, ток в цепи практически неизменным по силе. Барретор 0,3Б65—135 применяется в приемнике „Москвич" при включении последнего в сеть с напряжением 220 *в*. Марка его указывает, что он поддерживает в цепи неизменный ток (с точностью около 5%) силой 0,3 *а* при изменении напряжения на нем от 65 до 135 *в*.

На фиг. 10,*б* показан другой возможный вариант схемы питания накала ламп с применением барретора типа 0,3Б17—35[1] и соединенным с ним последовательно добавочным сопротивлением $R_9$, которое в последней схеме должно иметь величину 180 *ом* и допускать рассеивание на нем мощности 17 ÷ 20 *вт*. Схема фиг. 10,*б* обеспечивает нормальный режим накала ламп при изменениях напряжения в питающей сети в пределах от 100 до 120 *в*.

**Выпрямитель и фильтр.** Для питания цепей анодов и экранирующих сеток ламп напряжение сети в схеме фиг. 9 выпрямляется с помощью однополупериодного селенового выпрямителя, который должен содержать 11 ÷ 14 выпрямительных элементов (дисков), рассчитанных на выпрямление тока силой не менее 50 *ма*. Автором был применен столбик из дисков, имеющих диаметр 35 *мм*.

Сглаживание пульсаций выпрямленного селеновым столбиком переменного напряжения производится с помощью фильтра, состоящего из электролитических конденсаторов $C_6$, $C_7$ и $C_8$ по 20 *мкф* и сопротивлений $R_7 = 1\,000$ *ом* и $R_8 = 220$ *ом*, причем напряжение на анод лампы 30П1М подается после сопротивления $R_8$, а полностью фильтр используется для сглаживания пульсаций напряжения, подаваемого на экранирующую сетку оконечного каскада и на анод лампы каскада предварительного усиления. Напряжение на экранирующую сетку лампы 6Ж7 понижается и дополнительно фильтруется с помощью ячейки, состоящей из сопротивления $R_6 = 1$ *мгом* и конденсатора $C_5 = 0{,}05 \div 0{,}1$ *мкф*. Благодаря примененной схеме фильтрации фон переменного тока в громкоговорителе практически не прослушивается.

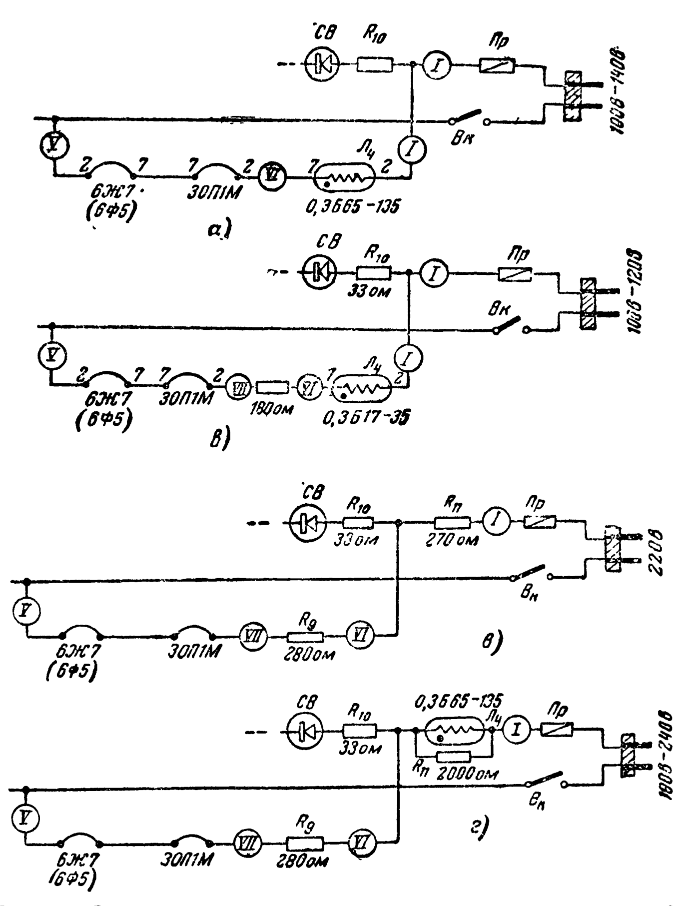
Усилитель включается в электросеть с помощью штепсельной вилки *В* со шнуром. В общей цепи питания стоит предохранитель *Пр*. Включение и выключение питания производится выключателем *Вк*, который может быть спарен с потенциометром $R_1$ регулирования усиления или представлять собой самостоятельную конструкцию.

Так как отрицательный полюс выпрямленного напряжения имеет непосредственное соединение с одним из проводов питающей электросети, его нельзя соединять с шасси усилителя,

---

[1] Барретор 0,3Б17—35 применяется в приемнике „Москвич" при включении его в сеть с напряжением 110÷127 *в*. Этот барретор, как показывает его марка, поддерживает в цепи практически неизменную силу тока 0,3 *а* (с точностью около 5%) при изменении напряжения на нем от 17 до 35 *в*.

так как последнее при этом окажется под полным напряжением сети и прикосновение к нему будет не безопасно. Чтобы все же обеспечить экранирующее действие шасси на расположенный внутри него монтаж и уменьшить таким образом фон



Фиг. 10. Варианты цепей питания усилителя по схеме фиг. 9.

переменного тока в громкоговорителе, минус выпрямленного напряжения соединяется с шасси через конденсатор $C_9$. Параллельно конденсатору $C_9$ можно попробовать включить сопротивление $R_{12} = 0{,}15 \div 0{,}25$ *мгом*, присутствие которого

в отдельных случаях еще снижает фон переменного тока в громкоговорителе.

**Питание от сети с напряжением 220 в.** Для получения необходимой для комнаты средних размеров мощности звучания, достаточно иметь на анодах ламп усилителя напряжение около 100 ÷ 110 *в*, поэтому это напряжение можно сохранить и при питании от сети с напряжением 220 *в*. В этом случае для гашения излишка напряжения сети одновременно в анодных цепях и в цепи накала усилителя по схеме фиг. 9 нужно включить между предохранителем *Пр* и общей точкой сопротивлений $R_9$ и $R_{10}$ дополнительное сопротивление $R_{11}$ (фиг. 10,*в*) в 270 *ом*, допускающее рассеивание на нем мощности до 35 ÷ 40 *вт*. На этом сопротивлении будет теряться переменное напряжение около 100 *в*. Другой вариант схемы с гашением излишка напряжения и в цепи анода и в цепи накала ламп показан на фиг. 10,*г*. Здесь применяется бареттор типа 0,3Б65—135. Шунтирующее его сопротивление $R_{11}$ должно иметь величину около 2 000 *ом* и рассчитано на рассеивание мощности 5 ÷ 7 *вт*. Так как в схеме фиг. 10,*г* через барретор (и частично через соединенное параллельно с ним сопротивление $R_{11}$) проходит не только ток накала ламп усилителя, но и ток, идущий на селеновый выпрямитель, здесь барретор стабилизует одновременно и напряжение накала усилительных ламп и их анодное напряжение при изменениях напряжения питающей сети примерно от 190 до 240 *в*.

Сопротивление $R_9$ в обоих вышеописанных вариантах схемы с питанием от сети с напряжением 220 *в* должно иметь величину 280 *ом*.

Никаких других изменений в схеме и в данных ее деталей при этом делать не нужно.

**Повышение выходной мощности усилителя.** При питании усилителя от сети с напряжением 220 *в* можно увеличить неискаженную мощность, отдаваемую динамику до 2 *вт*, путем повышения анодного напряжения. Для этого нужно подать полное напряжение сети на селеновый столбик. Последний в данном случае должен состоять из 18—22 последовательно соединенных выпрямительных элементов. Цепи питания усилителя при этом должны быть выполнены по схеме фиг. 10,*б*, но с применением барретора типа 0,3Б65—135. Сопротивление $R_9$ должно иметь указанную на схеме величину 180 *ом*; сопротивление $R_2$ (фиг. 9) в этом случае должно быть применено величиной в 1 500 *ом*; сопротивление $R_5$ должно быть увеличено до 300—330 *ом*, сопротивление $R_8$ — до 390 *ом*,

сопротивление $R_7$ — до 8 000 *ом*. Конденсаторы фильтра $C_6$, $C_7$ и $C_8$ должны быть рассчитаны на рабочее напряжение до 300 *в*, причем емкость конденсатора $C_8$ может быть уменьшена до 10 *мкф*.

В остальном схема ничем не отличается от схемы фиг. 9 и данные всех прочих ее деталей соответствуют указанным в табл. 2.

В последнем варианте схемы накал ламп поддерживается практически постоянным при изменениях напряжения сети от 155 до 230 *в*.

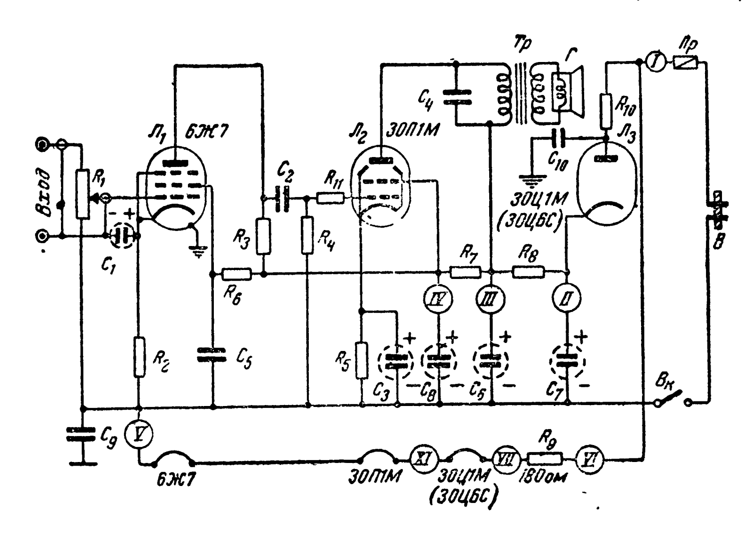
**Схема с кенотронным выпрямителем.** Выпрямление переменного напряжения для питания цепей анодов и экранирующих сеток ламп можно осуществить с помощью кенотрона типа 30Ц1-М или 30Ц6-С по той же однополупериодной схеме. Кенотрон 30Ц1-М имеет один анод и один катод и предназначен специально для работы в однополупериодной схеме. Кенотрон 30Ц6С имеет два анода и два катода, которые при работе в схеме однополупериодного выпрямителя следует соединить параллельно (анод с анодом, катод с катодом). Как тот, так и другой кенотрон имеет напряжение накала 30 *в* при силе тока 0,3 *а* и предназначен для последовательного включения в цепь накала вместе с лампой 30П1М, что и сделано в схеме фиг. 11. Кроме замены селенового столбика кентроном $Л_3$ и связанным с этим уменьшением сопротивления $R_9$ до 180 *ом* (при рассеиваемой мощности 20 *вт*), схема фиг. 11 ничем не отличается от схемы фиг. 9. При подборе деталей к схеме фиг. 11 следует пользоваться также табл. 2.

**Включение барретора.** Для стабилизации режима накала усилительных и выпрямительной ламп, а следовательно, и выходной мощности, схемы фиг. 11 при изменениях питающего напряжения в пределах от 100 до 120 *в*, последовательно с нитями накала ламп может быть включен барретор типа 0,3Б17—35, как показано на фиг. 12,*а*. В этом случае сопротивление $R_9$ должно иметь только 60 *ом* и должно допускать рассеивание на нем мощности до 6 ÷ 7 *вт*.

**Питание от 220-вольтовой сети.** Для питания усилителя от сети с напряжением 220 *в* в цепь питания последовательно (с предохранителем) следует включить сопротивление $R_{11}$ в 270 *ом* (фиг. 12,*б* и 12,*в*), Для одновременной стабилизации всех напряжений, подаваемых на лампы усилителя при питании от сети с напряжением 220 *в* может быть применен барретор 0,3Б65—135 (фиг. 12,*г*), шунтированный сопротивлением $R_{11}$ в 2 000 *ом*. В последнем случае сопротивление $R_9$

берется величиной в 180 *ом*. Схема фиг. 12,*г* стабилизирует напряжения питания усилителя при изменениях напряжения питающей сети примерно от 190 до 240 *в*.

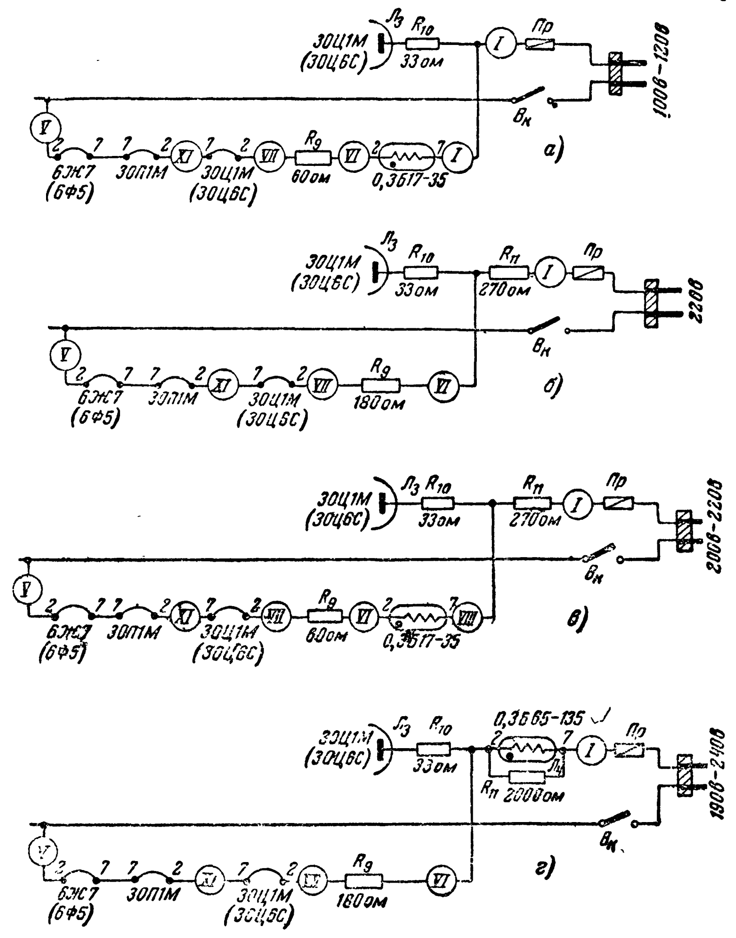
При питании усилителя от 220-вольтовой сети с применением схем по фиг. 12,*б*, 12,*в* и 12,*г* на анодах усилительных ламп, очевидно, будут получаться примерно такие же напряжения, как и при питании от 120-вольтовой сети. При желании увеличить выходную мощность усилителя по схеме фиг. 11 в ней нужно изменить данные деталей $R_2$, $R_5$, $R_7$, $R_8$, $C_6$, $C_7$




Фиг. 11. Принципиальная схема усилителя низкой частоты с кенотронным выпрямителем.

и $C_8$, как было указано для варианта усилителя с селеновым выпрямителем (см. стр. 36), и применить схему цепей питания по фиг. 12,*а*. В последней схеме нужно только вместо барретора 03Б17—35 применить барретор типа 0,3Б65—135. Сопротивление $R_9$ и при этом варианте питания от сети с напряжением 220 *в* должно иметь указанную на схеме фиг. 12,*а* величину 60 *ом*. В остальном схема ничем не должна отличаться от схемы по фиг. 11, а данные ее деталей (кроме упомянутых $R_2$, $R_5$, $R_7$, $R_8$, $C_6$, $C_7$ и $C_8$) должны соответствовать указаниям табл. 2. Напряжение накала ламп при такой схеме поддерживается практически постоянным при колебаниях напряжения сети от 150 до 220 *в*.

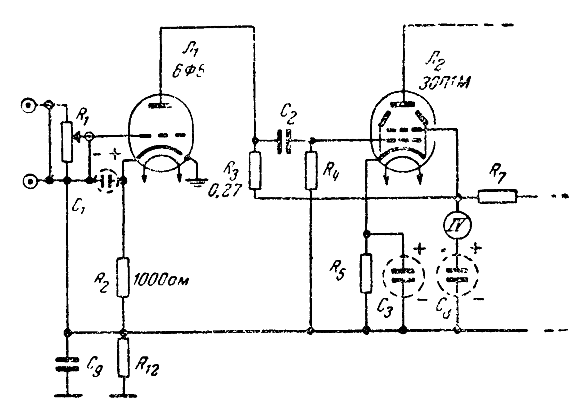
**Предварительный каскад с триодом.** В предварительном каскаде усилителя, как с селеновым, так и с кенотронным выпрямителем, вместо пентода 6Ж7 может быть применен триод



Фиг. 12. Варианты цепей питания усилителя по схеме фиг. 11.

типа 6Ф5 (или 6Ф5С). В этом случае из схемы исключаются сопротивление $R_6$ и конденсатор $C_5$, соединенные с экранирующей сеткой (фиг. 9 и 11), а сопротивление смещения первого каскада $R_2$ заменяется сопротивлением в 1 000 *ом* (вместо 2 700 *ом* для пентода 6Ж7). Часть схемы усилителя при

работе с лампой 6Ф5 показана на фиг. 13. В остальном схемы фиг. 9 и 11 остаются без изменений. Путем экспериментального сравнения схем с пентодом 6Ж7 и с триодом 6Ф5 установлено, что коэффициент усиления каскада с триодом уменьшается приблизительно в 2—2½ раза по сравне-



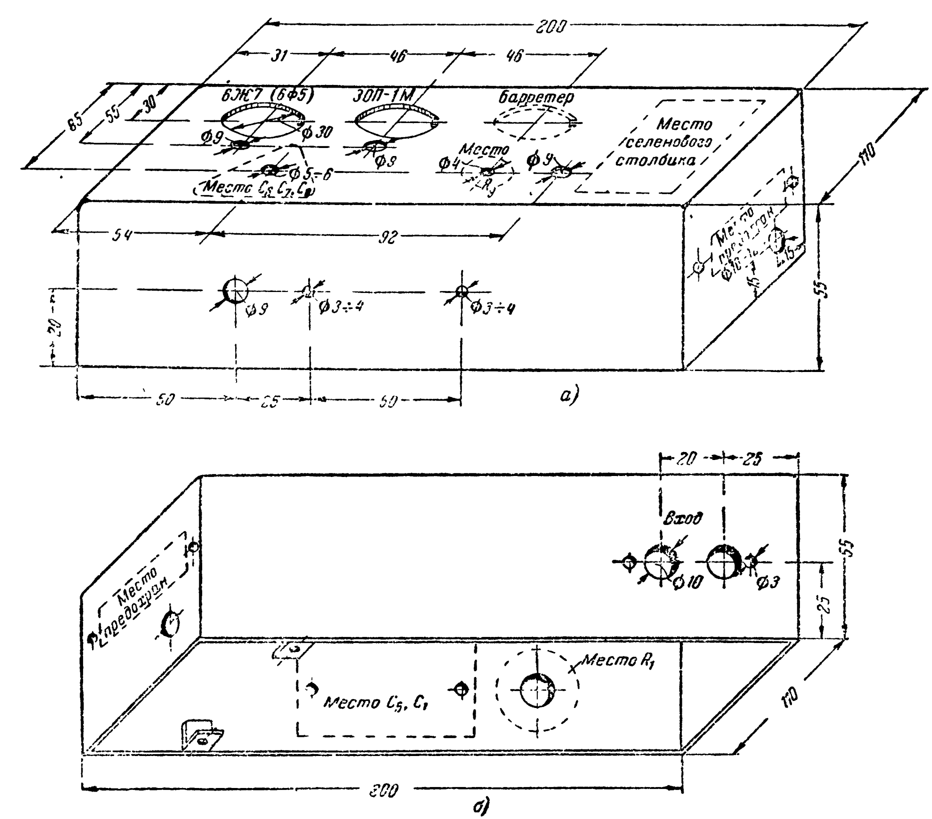
Фиг. 13. Схема каскада предварительного усиления с применением триода.

нию с коэффициентом усиления при работе с пентодом 6Ж7. Однако и усиление, даваемое лампой 6Ф5, практически часто бывает достаточно, особенно при работе от регенеративного приемника или при воспроизведении граммофонных записей с помощью граммофонного адаптера.

## 5. КОНСТРУКЦИИ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

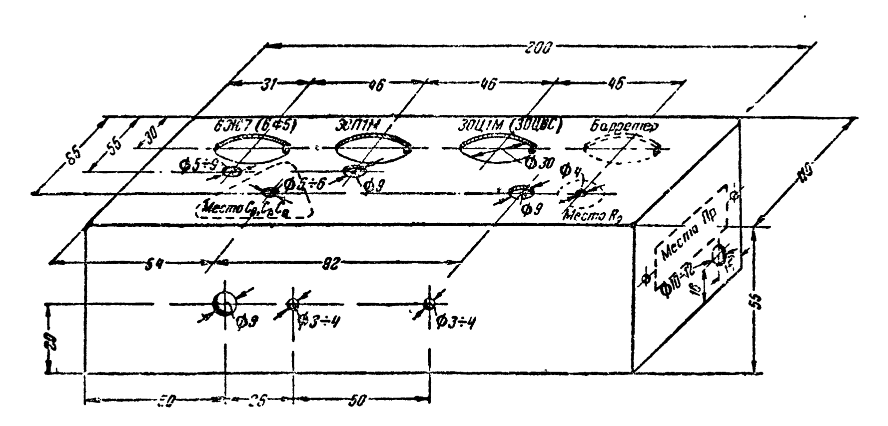
Прежде чем приступить к монтажу усилителя, необходимо выполнить ряд подготовительных слесарно-механических работ. Нужно изготовить шасси для монтажа, детали для крепления электролитических конденсаторов сглаживающего фильтра выпрямителя, конденсаторов, шунтирующих сопротивления смещения, и выходной трансформатор, если не удастся приобрести готовый.

**Шасси для монтажа**. Монтаж усилителя производится на шасси, изготовленном из листового алюминия или листовой стали толщиной 1,5 ÷ 2 *мм* (фиг. 14 и 15). Длина шасси 200 *мм*, ширина 110 *мм* и высота 55 *мм*. Основные отверстия,




Фиг. 14. Конструкция шасси усилителя низкой частоты с селеновым выпрямителем.

которые нужно сделать в шасси для усилителя с селеновым выпрямителем, показаны на фиг. 14 и соответственно в шасси для монтажа усилителя с кенотронным выпрямителем — на фиг. 15. На последнем чертеже мы ограничиваемся изображением шасси только в одном виде, так как разметка отверстий на задней стенке шасси для усилителя с кенотроном должна быть произведена так же, как и в случае усилителя с селеновым столбиком. Некоторые отверстия, например: для крепления выходного трансформатора, селенового столбика, держателя предохранителя, на чертежах не показаны. Они

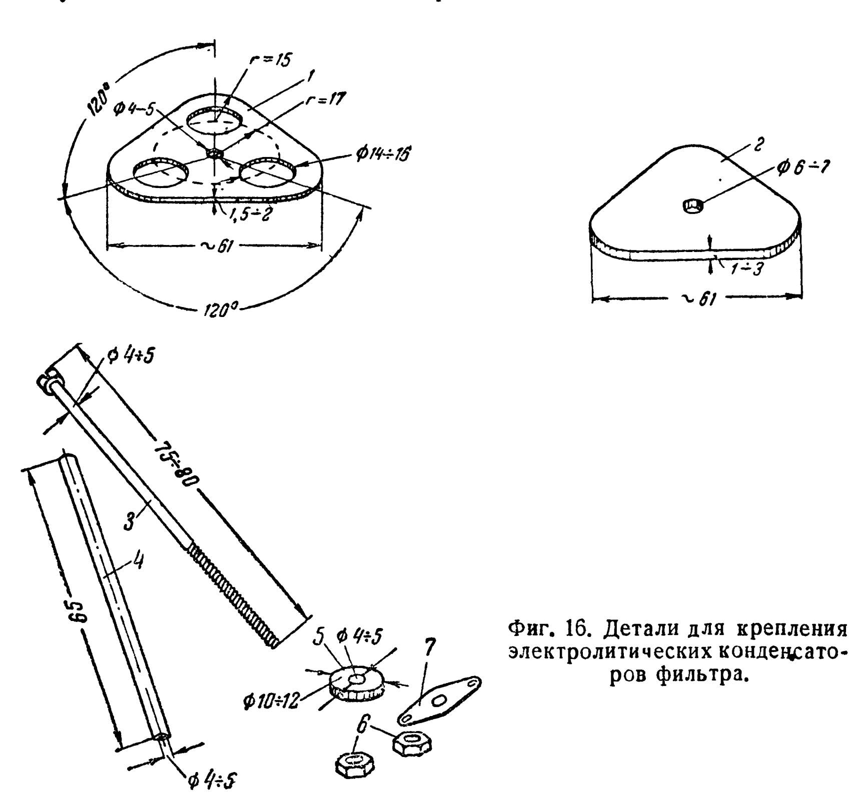



Фиг. 15. Конструкция шасси для монтажа усилителя низкой частоты с кенотронным выпрямителем.

должны быть сделаны соответственно крепежным отверстиям на этих монтируемых деталях. В случае, если предполагается монтировать усилитель по схеме без бартретора, вырез, предназначенный для ламповой панели последнего (показанный пунктиром), в шасси делать не нужно. В этом случае сопротивление $R_9$ обычно приходится составлять из нескольких сопротивлений, обеспечивающих совместно необходимую рассеиваемую мощность, и на месте выреза для панели бареттора можно просверлить отверстие (или отверстия) для крепления этих сопротивлений.

Показанная на фиг. 14 и 15 форма отверстий для ламповых панелей (с внутренним выступом) используется в случае применения массивных ламповых панелей из пластмассы. В случае применения панелей из листового текстолита или ге-

тинакса эти отверстия не должны иметь выступов, а представлять собой правильный круг. Для крепления таких панелей нужно высверлить дополнительные отверстия рядом с основными отверстиями для этих панелей, которые в этом случае можно сделать диаметром 27 ÷ 28 *мм*.



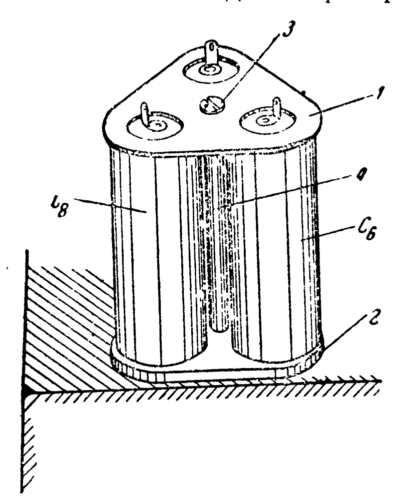

Фиг. 16. Детали для крепления электролитических конденсаторов фильтра.

Металлические угольники (лапки), которые видны на фиг 14,*б*, служат для крепления шасси усилителя к ящику, в котором будет установлен усилитель вместе с динамиком. В отверстиях лапок нарезается метчиком резьба диаметром около 4 *мм*. Если метчика в распоряжении радиолюбителя не имеется, к лапкам с внутренней стороны припаиваются гайки с соответствующей резьбой таким образом, чтобы отверстия в гайках совпадали с отверстиями в лапках. В последнем случае диаметр отверстий в лапках должен быть при-

мерно на 1 *мм* больше диаметра винтов, ввинчиваемых в гайки для крепления шасси.

Шасси можно сделать и деревянным, увеличив его внешние размеры по сравнению с указанными на чертежах фиг. 14 и 15 на толщину дощечек, из которых оно изготовляется. В последнем случае рекомендуется обить его изнутри жестью, которая будет служить экраном.

**Блок конденсаторов сглаживающего фильтра.** Для крепления на шасси конденсаторов фильтра $C_6$, $C_7$ и $C_8$ (фиг. 9 и 11) нужно изготовить ряд деталей по фиг. 16. Деталь *1* может быть изготовлена из листового алюминия, дюралюминия, или из листовой стали толщиной 1,5 ÷ 2 *мм*. Деталь *2*, имеющая точно такую же форму, как и деталь *1*, но без трех вырезов диаметром 14 ÷ 16 *мм*, может быть сделана из гетинакса, текстолита, эбонита или любого иного изоляционного материала толщиной до 3 *мм*. В крайнем случае для ее изготовления может быть применена фанера или картон, пропитанные парафином. При изготовлении детали *2* можно пользоваться деталью *1* как шаблоном. Болт *3* может быть стальным или латунным. Трубка *4* должна иметь внутренний диаметр, соответствующий диаметру болта *3*. Она должна быть кембриковой, линоксиновой либо может быть склеена из бумаги с помощью изоляционного лака. Шайба *5* может быть из любого изоляционного материала Гайки *6* — стальные или латунные. Монтажный лепесток *7* — медный или латунный, луженый.




Фиг. 17. Собранный блок электролитических конденсаторов фильтра.

Сборка блока конденсаторов сглаживающего фильтра показана на фиг. 17. На шасси усилителя в месте, указанном на фиг. 14 и фиг. 15, укладывается деталь *2* (фиг. 16) таким образом, чтобы отверстие в ней совпадало с отверстием в шасси, и на нее устанавливаются электролитические конденсаторы $C_6$, $C_7$ и $C_8$. Болт *3* пропускается через среднее отвер-

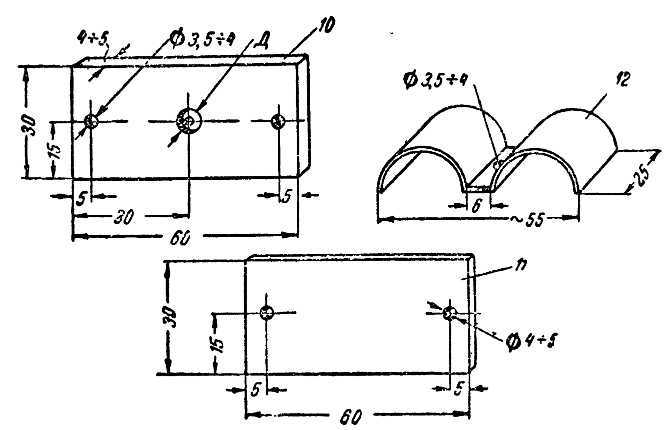
стие в металлической пластинке *1* и на его конец надвигается изоляционная трубка *4* до упора в пластинку *1*. Затем конец болта с трубкой вставляется в отверстия в детали *2* и в шасси. При этом пластинка *1* должна лечь на верхние торцы конденсаторов $C_6$, $C_7$ и $C_8$. Выводные лепестки последних располагаются внутри вырезов в пластинке *1* и не должны прикасаться к краям этих вырезов. С внутренней стороны шасси на конец болта *3* с трубкой *4* надевается шайба *5*. Излишний конец трубки *4*, выступающий из шайбы *5*, срезается. Далее на резьбу болта надевается монтажный лепесток *7* и навинчиваются гайки *6* (см. фиг. 20 и 21) с таким расчетом, чтобы электролитические конденсаторы оказались бы туго зажаты между пластинками *1* и *2*. Лепесток *7* является общим выводом от всех корпусов (минусов) электролитических конденсаторов $C_6$, $C_7$ и $C_8$. После сборки блока электролитических конденсаторов фильтра необходимо проверить, нет ли случайных замыканий болта *3* на шасси усилителя. Необходимая изоляция этого болта и корпусов электролитических конденсаторов должна обеспечиваться панелью *2*, трубкой *4* и шайбой *5*.

**Блок конденсаторов блокировки сопротивлений смещения.** Корпусы электролитических конденсаторов $C_1$ и $C_5$, шунтирующих сопротивления смещения, также должны быть изолированы от шасси усилителя. Для выполнения этого условия крепление конденсаторов $C_1$ и $C_5$ к шасси должно производиться с помощью деталей, показанных на фиг. 18. Деталь *10* изготовляется из любого изоляционного материала, обладающего достаточной прочностью (эбонита, текстолита, гетинакса или дерева, пропитанного парафином). Отверстия в ней должны иметь диаметры, соответствующие имеющимся винтам. Среднее отверстие *Д* рассверливается, кроме того, дополнительно на половину толщины материала сверлом такого диаметра, чтобы в полученном углублении утапливалась головка винта. Деталь *11* вырезается из прессшпана или пропарафинированного картона. Скоба *12* изготовляется из листового алюминия толщиной $1{,}5 \div 2$ *мм*. Радиусы закруглений скобы должны соответствовать диаметрам корпусов электролитических конденсаторов $C_1$ и $C_5$. Последние зажимаются между пластинкой *10* и скобой *12* с помощью одного болтика, с гайкой, пропущенного через средние отверстия этих деталей.

Вся конструкция крепится на шасси двумя болтиками с гайками (фиг. 20 и 21). Между стенкой шасси и пластин-

кой *10* прокладывается пластинка *11*, исключающая возможность соприкосновения среднего болта с шасси усилителя. После установки блока конденсаторов смещения на шасси нужно убедиться в том, что крайние болтики не имеют контакта с корпусами конденсаторов.

**Выходной трансформатор**. Сердечник выходного трансформатора для усилителя с выходной мощностью около 1 *вт* собирается из пластин трансформаторной стали типа Ш-16 или Ш-18 (фиг. 19,*а*). Намотка трансформатора производится на односекционном каркасе (фиг. 19,*б*). Для усилителя с выход-



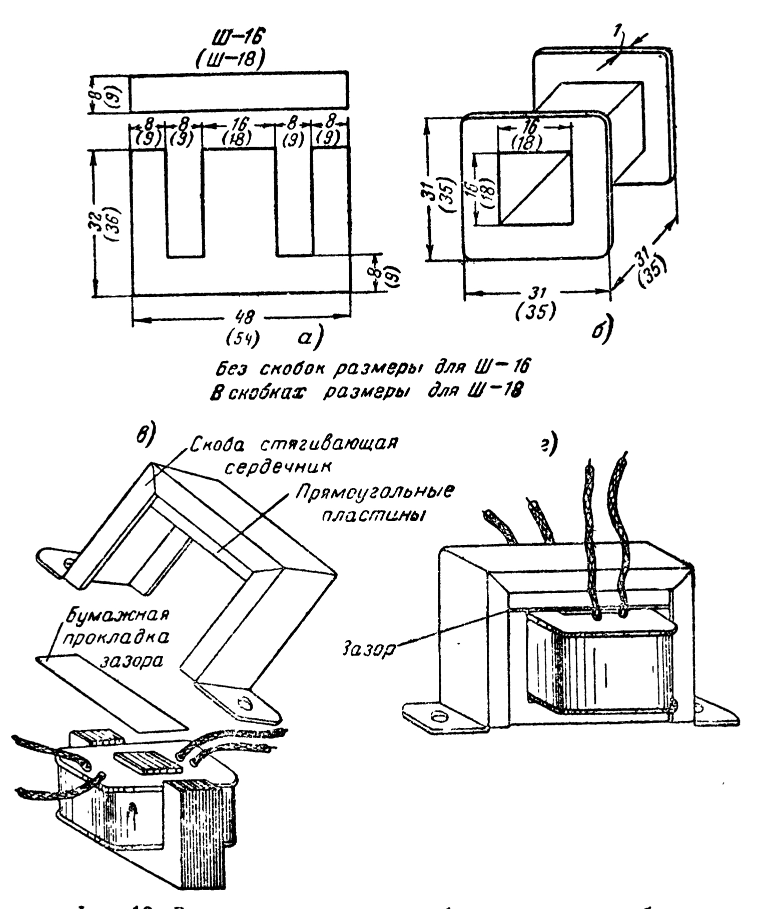

**Фиг.** 18. Детали блока электролитических конденсаторов смещения.

ной мощностью 1 *вт* первичная обмотка трансформатора должна иметь 2 000 витков провода ПЭ или ПЭЛ диаметром 0,12 ÷ 0,13 *мм*. Через каждые 200 ÷ 250 витков прокладывается слой пропарафинированной папиросной бумаги. Выводы конца и начала первичной обмотки делаются гибкими многожильными проводниками. Поверх первичной обмотки наматывается два слоя ленты, вырезанной из кембрикового полотна или из плотной пропарафинированной бумаги, а затем наматывается вторичная обмотка.

В случае работы усилителя с динамиком типа 1ГДМ-1,5 вторичная обмотка должна иметь 95 витков провода ПЭ 0,6 *мм*, а при динамике 2ГДМ-3 — 105 витков такого же провода. Выводы начала и конца вторичной обмотки могут быть сделаны тем же проводом, которым произведена намотка.

Для усилителя, питаемого от сети напряжением 220 *в* и

отдающего динамику повышенную мощность (до 2 *вт* — см. стр. 36 и стр. 38), выходной трансформатор должен быть собран из пластин трансформаторной стали типа Ш-18. Каркас



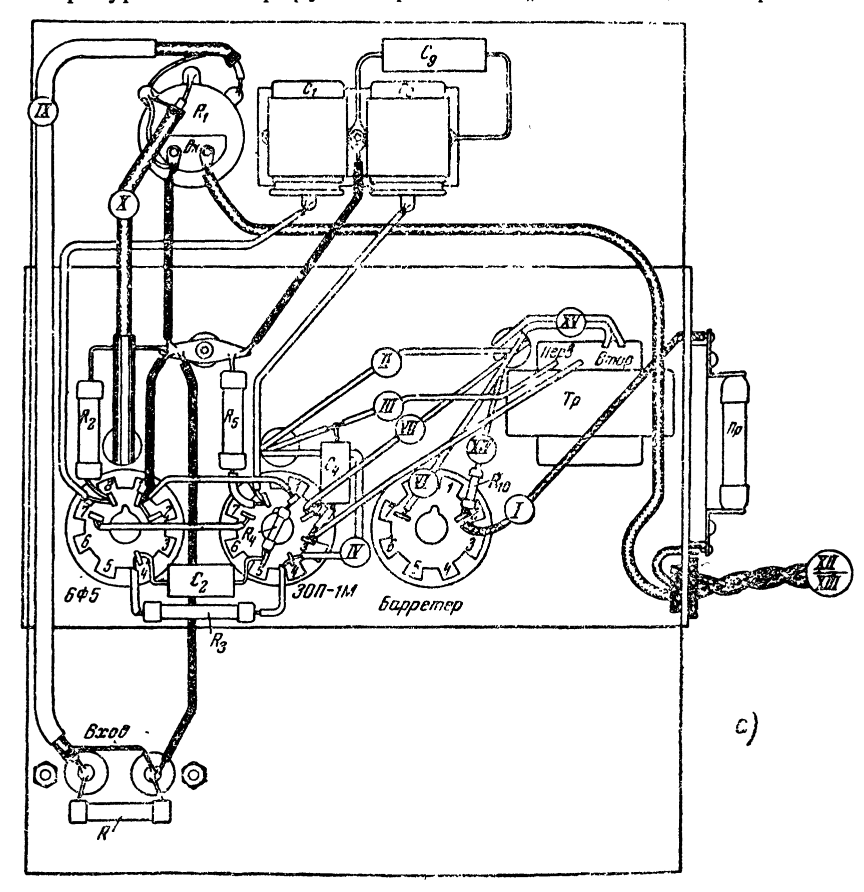

**Фиг. 19.** Детали выходного трансформатора и его сборка. Без скобок указаны размеры для пластин типа Ш-16, а в скобках — для пластин типа Ш-18.

для его намотки должен быть изготовлен по размерам фиг. 19,*б*, показанным в скобках. Первичная обмотка такого трансформатора должна иметь 2 500 витков провода ПЭ или ПЭЛ 0,12 ÷ 0,13 *мм*, а вторичная обмотка, в расчете на ис-

пользование динамика 2ГДМ-3, должна иметь 55 витков провода ПЭ 0,7 ÷ 0,8 *мм*.

Использование в данном случае полутораваттного динамика 1ГДМ-1,5 или какого-либо другого динамика с мощностью менее 2 *вт,* очевидно, не желательно, так как он будет перегружаться. Порядок намотки, изоляции и выводов обмоток такой же, как описано выше.

Для сборки трансформатора следует изогнуть из 1—1½-миллиметрового металла скобу, показанную на фиг. 19,*в*. Эта же фигура иллюстрирует порядок сборки выходного транс-




Фиг. 20. Монтажная схема усилителя низкой частоты с селеновым вып ления. В случае применения в предварительном каскаде лампы

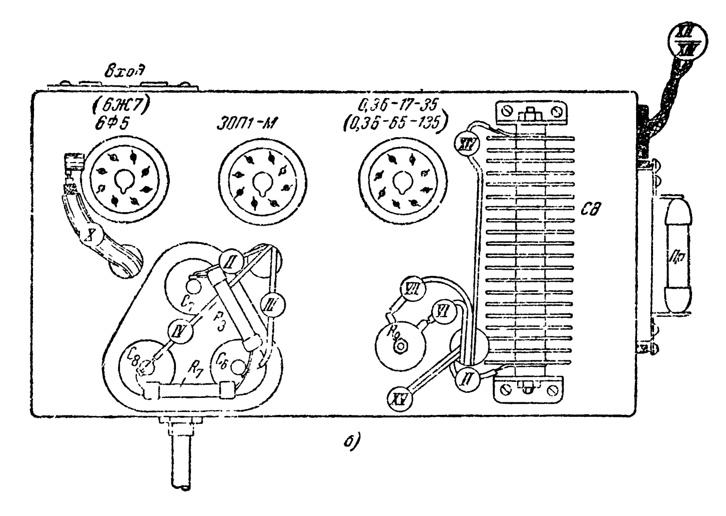
форматора. Сердечник трансформатора собирается с зазором 0,1 *мм*, который обеспечивается прокладкой между «полюсами» пакета Ш-образных пластин и пакетом прямоугольных (замыкающих) пластин полоски бумаги. Размер этой полоски для сердечника типа Ш-16 — 16×48 *мм* и для сердечника типа Ш-18 — 18×54 *мм*.

Готовый трансформатор показан на фиг. 19,*г*.

**Использование трансформаторов от заводских приемников.** В описываемом усилителе, когда он работает с выходной мощностью около 1 *вт*, можно использовать выходной трансформатор от приемника «Рекорд». Этот трансформатор специально рассчитан на работу с лампой 30П1М на динамик 1ГДМ-1,5 и поэтому в случае использования последнего в нашем усилителе может быть замонтирован без каких-либо переделок. Если же мы будем работать с динамиком 2ГДМ-3, то ко вторичной обмотке выходного трансформатора от приемника «Рекорд» нужно будет домотать 8 витков провода ПЭ 0,55 ÷ 0,6.

При питании же усилителя от сети с напряжением 220 *в*, когда он отдает мощность до 2 *вт* (см. стр. 36 и 38) и работает с динамиком 2ГДМ-3, можно применить в усилителе готовый трансформатор от приемника «Москвич».

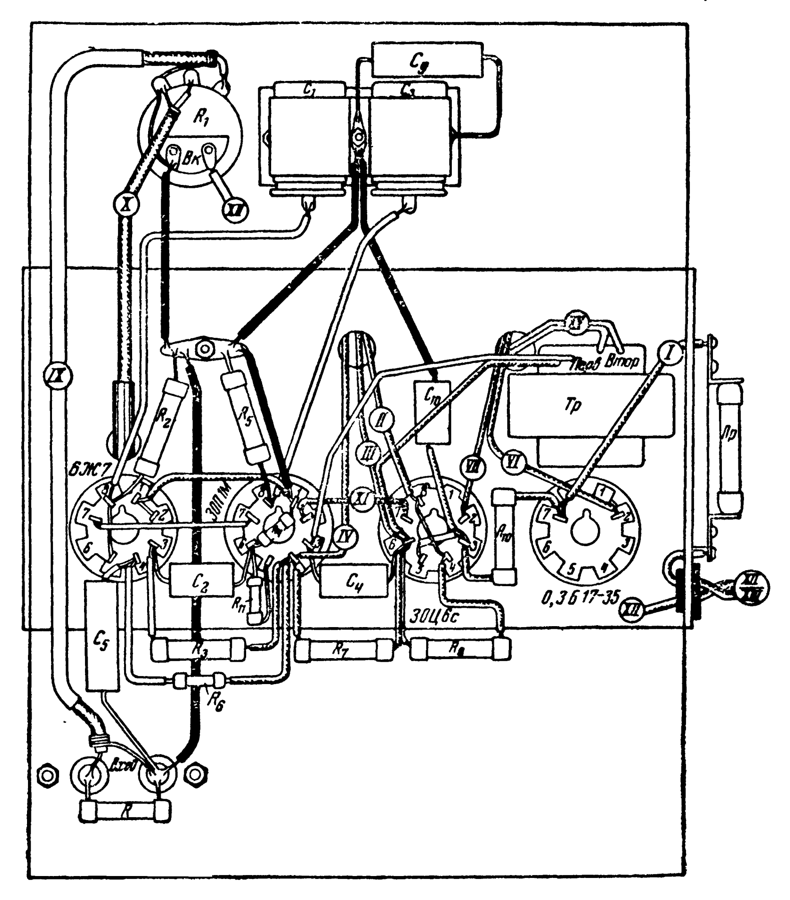
**Применение динамика ВЭФ-ПЕР-45.** Необходимо сказать несколько слов о возможности применения к описываемому




б)

рямителем и лампой типа 6Ф5 или 6Ф5С в каскаде предварительного уси-
типа 6Ж7 эта часть схемы должна монтироваться, по фиг. 21.

усилителю динамика ВЭФ-ПЕР-45. Этот динамик считается «четвертьваттным», однако и при подаче на него мощности 0,8 ÷ 1,0 *вт* от лампы 30П1М, как показывает опыт, он не




Фиг. 21. Монтажная схема усилителя низкой частоты с кенотронным выпрямителем и с лампой 6Ж7 в первом каскаде. В случае применения в этом каскаде лампы 6Ф5 эта часть схемы должна быть смонтирована в соответствии с фиг. 20.

вносит в передачу заметных искажений. Поэтому его можно рекомендовать к нашему усилителю, когда он работает при анодном напряжении около 100 *в*, тем более что шасси усилителя может быть размещено в ящике динамика ВЭП-ПЕР-45.

Так как трансформатор динамика ВЭФ-ПЕР-45 рассчитан на работу от трансляционной сети, его нужно переделать для получения оптимальной нагрузки для лампы оконечного каскада 30П1М (около 2 000 *ом*). Практически переделка сводится к домотке к его вторичной обмотке 20 витков провода ПЭ 0,55—0,6. После переделки вторичная обмотка трансформатора будет иметь всего 80 витков. Первичная обмотка трансформатора остается без изменений (она имеет 1 900 витков провода ПЭ 0,15). После домотки вторичной обмотки трансформатор нужно собрать и смонтировать на старом месте в ящике динамика.

**Монтажная схема усилителя с селеновым выпрямителем.** На фиг. 20 дана монтажная схема усилителя низкой частоты с селеновым выпрямителем, первый каскад которого работает с триодом 6Ф5 (фиг. 13). В случае применения в усилителе лампы 6Ж7 (фиг. 9) монтаж этой части схемы должен быть выполнен, руководствуясь левой частью монтажной схемы фиг. 21.

Кроме блока электролитических конденсаторов фильтра и электронных ламп, сверху шасси (фиг. 20,*б*) располагается селеновый выпрямительный столбик и сопротивление цепи накала $R_9$. Последнее должно быть надежно изолировано от шасси усилителя. Сопротивления сглаживающего фильтра $R_7$ и $R_8$ монтируются между выводными лепестками электролитических конденсаторов $C_6$, $C_7$ и $C_8$.

На одной из боковых стенок шасси снаружи монтируется держатель для предохранителя *Пр*, а на за́дней стенке шасси входная колодка с двумя гнездами. Все остальные детали, входящие в схему усилителя (фиг. 9), располагаются внутри, в шасси. Надобность в сопротивлении $R$, включенном между входными гнездами, может встретиться, если усилитель предназначается для работы от детекторного приемника (о чем разговор будет ниже). В усилителе, предназначенном для работы от лампового приемника и для воспроизведения граммофонных записей с помощью адаптера, это сопротивление $R$ не нужно. Все соединения между деталями производятся изолированным проводом или голым проводом с надетой на него кембриковой или линоксиновой трубкой. Нужно следить за тем, чтобы ни один из проводов не имел соединения с шасси.

**Экранировка входных цепей.** Все входные цепи усилителя должны быть заэкранированы с целью устранения фона переменного тока, который может индуктироваться в неэкрани-

рованных входных цепях и далее значительно усиливаться лампами. Кроме того, экранировка предотвращает возможность возникновения паразитной обратной связи между входными и выходными цепями усилителя, которая может привести к самовозбуждению усилителя на низкой частоте, выражающемуся в появлении свиста в динамике.

Провод *IX* (фиг. 20), соединяющий входное гнездо усилителя с потенциометром $R_1$, и провод *X*, идущий от потенциометра к сетке лампы каскада предварительного усиления, заключаются с этой целью в металлический чулок.

Так как экранировка проводов *IX* и *X* соединяется со схемой усилителя (с минусом выпрямленного напряжения), поверх нее надеваются кембриковые или линоксиновые трубки, во избежание замыкания металлического чулка или оплетки на металлическое шасси усилителя. Для прокладки входных цепей можно также использовать шнур от телефонного коммутатора. Внутренняя его жила используется как рабочий провод, а внешняя спиральная жила — как экран. Наружная оплетка коммутаторного шнура является достаточной изоляцией внешней его жилы от шасси, и поэтому на него нет необходимости надевать изоляционную трубку. В качестве провода *IX* возможно также применить телефонный или электрический кабель со свинцовой броней, надев на него кембриковую или линоксиновую трубку.

Конец провода *X*, служащий для соединения с колпачком управляющей сетки лампы 6Ж7 или 6Ф5, снабжается хомутиком для соединения его с сеткой лампы (фиг. 20,*б*).

**Монтаж усилителя**. Опишем кратко некоторые монтажные соединения, которые могут оказаться не вполне ясными из фиг. 20. Провод *II* соединяет селеновый выпрямительный столбик с плюсом конденсатора $C_7$; провод *IV* соединяет плюс конденсатора $C_8$ с экранирующей сеткой лампы 30П1М. Проводник *III* соединяет плюс конденсатора $C_6$ с первичной обмоткой выходного трансформатора. В случае применения динамика ВЭФ-ПЕР-45, когда выходной трансформатор располагается на самом динамике, провод от анодного гнезда (*3*) панели лампы 30П1М выводится на верх шасси к первичной обмотке трансформатора; провод *III* заканчивается у конденсатора $C_4$, а плюс конденсатора $C_6$ специальным проводником (не заходящим внутрь шасси) присоединяется к другому концу первичной обмотки трансформатора динамика.

Шнур, состоящий из проводов *XII* и *XIII*, служит для включения в сеть электрического тока; провод *XIV* соединяет

сопротивление $R_{10}$ с селеновым выпрямительным столбиком. Два проводника *XV* идут от вторичной обмотки выходного трансформатора к звуковой катушке динамика.

Не используемые во всех ламповых панелях гнезда *6*, а также гнезда *3* и *5* в панели лампы 6Ф5 и гнезда *1*, *3*, *4* и *5* в панели барретора могут быть удалены.

**Варианты монтажа цепей накала.** При различных вариантах схемы цепи накала (фиг. 9 и 10) порядок включения проводников *I*, *VI* и *VII* различный. На монтажной схеме фиг. 20 показан монтаж цепей накала для случаев применения в схеме барретора 0,3Б17—35 при питании усилителя от сети напряжением 100 ÷ 120 *в* или барретора 0,3Б65—135 при питании от сети напряжением 220 *в* (фиг. 10,*б*). Последний упомянутый вариант с барретором 0,3Б65—135 соответствует работе усилителя с повышенной до 2 *вт* мощностью (см. стр. 36). В этих случаях проводник *I* соединяет предохранитель *Пр* с гнездом *2* панели барретора, а проводники *VI* и *VII* включают сопротивление $R_9$ (180 *ом*) между гнездом *7* панели барретора и гнездом *2* лучевого тетрода 30П1М. Если же при питании от сети напряжением 100 ÷ 127 *в* применяется барретор 0,3Б65—135 (сопротивление $R_9$ отсутствует—фиг. 10,*а*), проводник *VII* из схемы исключается, а проводник *VI* укорачивается и служит для соединения гнезда *7* панели барретора с гнездом *2* панели лампы 30П1М. Когда же при питании от электросети напряжением 110 ÷ 127 *в* не предполагается применение барретора (фиг. 9), из схемы исключается панель барретора и проводник *VI*, а вместо последнего к сопротивлению $R_9$ (280 *ом*) присоединяется второй конец проводника *I*, первый конец которого попрежнему остается соединенным с предохранителем. В последнем случае сопротивление $R_{10}$ удобно вынести из «подзала» шасси наверх, припаяв один его вывод к тому выводу сопротивления $R_9$, к которому подходит проводник *I*.

Данные сопротивления $R_9$ для различных вариантов схемы цепи накала приведены в табл. 3.

В случае, если предполагается в качестве сопротивления $R_9$ применить остеклованные (эмалированные) или непроволочные сопротивления, они должны быть подобраны, руководствуясь указанными в таблице токами и мощностями. Если не удастся приобрести сопротивления необходимой величины, или если одно сопротивление не допускает пропускания через него тока 0,3*а*, или показанная в таблице для данной величины сопротивления мощность превышает мощность,

допустимую для данного типа (размера) сопротивления, сопротивление $R_9$ может быть составлено из нескольких последовательных или параллельных, которые в группе обеспечивают необходимые параметры, указанные в табл. 3.

В случае применения самодельных проволочных сопротивлений по данным табл. 3 нужно наматывать их в один слой

Таблица 3

**Электрические и конструктивные данные поглотительного сопротивления цепи накала $R_9$**

| Необходимая величина сопротивления | *ом* | 60 | 180 | 280 |
|---|---|---|---|---|
| Сила тока через сопротивление | *ма* | 300 | 300 | 300 |
| Расчетная рассеиваемая мощность | *вт* | 5,4 | 16,5 | 25,5 |
| Минимальная поверхность каркаса | *см²* | 35 | 100 | 150 |
| Никелин: ⌀ 0,3 *мм* | *м* | 10,5 | 32 | 50 |
| ⌀ 0,35 *мм* | *м* | 14 | 42 | 65 |
| ⌀ 0,4 *мм* | *м* | 18,5 | 55 | 85 |
| ⌀ 0,45 *мм* | *м* | 24 | 72 | 112 |
| ⌀ 0,5 *мм* | *м* | 30 | 90 | 140 |
| Манганин: ⌀ 0,35 *мм* | *м* | 13,2 | 40 | 62 |
| ⌀ 0,4 *мм* | *м* | 17,5 | 52 | 80 |
| ⌀ 0,45 *мм* | *м* | 22 | 66 | 100 |
| ⌀ 0,5 *мм* | *м* | 27 | 81 | 125 |
| Константан: ⌀ 0,4 *мм* | *м* | 15 | 45 | 70 |
| ⌀ 0,45 *мм* | *м* | 19 | 57 | 88 |
| ⌀ 0,5 *мм* | *м* | 23,5 | 71 | 110 |
| Нихром: ⌀ 0,4 *мм* | *м* | 6,4 | 19,5 | 30 |
| ⌀ 0,45 *мм* | *м* | 8,2 | 25,5 | 40 |
| ⌀ 0,5 *мм* | *м* | 10 | 32 | 50 |

на огнестойкие каркасы (на трубки, цилиндры, пластинки из фарфора, шифера или мрамора), причем общая поверхность этих каркасов в квадратных сантиметрах должна быть по крайней мере в 5— 7 раз больше рассеиваемой на них мощности в ваттах. Так, например, сопротивления, составляющие сопротивление $R_9$ в 280 *ом*, должны иметь общую поверхность не менее 150 ÷ 180 *см²*. Чем больше будет поверхность этих каркасов, тем меньше будут сопротивления нагреваться. Для лучшей теплоотдачи рекомендуется устанавливать сопротивления в вертикальном положении. Надежная изоляция всех частей сопротивления $R_9$ от шасси усилителя обязательна.

**Монтаж общего понижающего сопротивления при питании от сети с напряжением 220 *в*.** В случаях питания усилителя от сети напряжением 220 *в*, когда в схему добавляется сопротивление $R_{11}$ (фиг. 10,*в* и *г*), последнее изготовляется или подбирается по данным табл. 4 с учетом указаний, сде-

Таблица 4

**Электрические и конструктивные данные добавочного сопротивления $R_{11}$ для питания от сети напряжением 220 *в***

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Необходимая величина сопротивления . . . | *ом* | 270 | | *ом* | 2 000 |
| Сила тока через сопротивление . . . . . . | *ма* | 340÷360 | | *ма* | 40÷60 |
| Расчетная рассеиваемая мощность . . . . . . | *вт* | 34 | | *вт* | 5 |
| Минимальная поверхность каркаса . . . . | *см*$^2$ | 200 | | *см*$^2$ | 30 |
| Никелин: Ø 0,35 . . . | *м* | 62 | Никелин: Ø 0,12 . . | *м* | 57 |
| Ø 0,4 . . . . | *м* | 81 | Ø 0,15 . . | *м* | 89 |
| Ø 0,45 . . . | *м* | 107 | Ø 0,18 . . | *м* | 127 |
| Ø 0,5 . . . . | *м* | 134 | Ø 0,20 . . | *м* | 157 |
| Манганин: Ø 0,4 . . . | *м* | 76 | Манганин: Ø 0,15 . . | *м* | 82 |
| Ø 0,45 . . . | *м* | 95 | Ø 0,18 . . | *м* | 119 |
| Ø 0,5 . . . | *м* | 120 | Ø 0,20 . . | *м* | 149 |
| Константан: Ø 0,4 . . | *м* | 66 | Константан: Ø 0,15 . | *м* | 73 |
| Ø 0,45 . . | *м* | 84 | Ø 0,18 . | *м* | 102 |
| Ø 0,5 . . | *м* | 105 | Ø 0,20 . | *м* | 125 |
| Нихром: Ø 0,4 . . . . | *м* | 28 | Нихром: Ø 0,16 . . . | *м* | 36 |
| Ø 0,45 . . . . | *м* | 38 | Ø 0,20 . . . | *м* | 44 |
| Ø 0,5 . . . . | *м* | 48 | Ø 0,25 . . . | *м* | 55 |

Примечание. В случае, если напряжение в питающей сети, как правило, бывает меньше 220 *в*, величину сопротивления $R_{11}$ нужно уменьшить.

ланных нами в отношении сопротивления $R_9$. Сопротивление $R_{11}$ монтируется снаружи шасси на его горизонтальной или боковой поверхности. Из соображений лучшего охлаждения сопротивления $R_{11}$, включаемого по схеме фиг. 10,*б* (в этом случае оно выделяет значительное количество тепла), может быть рациональным монтаж его вне шасси или даже снаружи ящика динамика и усилителя.

При схеме с барретором 0,3Б65—135 (фиг. 10,*г*) цепи питания при напряжении сети 220 *в* незначительно изменяются по сравнению с теми, которые показаны на монтажной схеме фиг. 20. Все проводники остаются на своих местах, но сопротивление $R_{10}$ припаивается не к гнезду *2*, а к гнезду *7* ламповой панели барретора. Кроме того, параллельно нити барретора (на гнезда *2* и *7* его ламповой панели) включается сопротивление $R_{11} = 2\,000$ *ом*. Сопротивление $R_9$ в этом случае должно иметь величину 280 *ом*. Если же в схеме не предполагается применять барретор (фиг. 10,*в*), панель последнего из монтажа исключается и провод *I* соединяется с одним концом сопротивления $R_{11} = 270$ *ом*. Второй конец этого сопротивления соединяется с сопротивлением $R_9$. С этой же точкой соединяется сопротивление $R_{10}$. Проводники *VII* и *XIV*, а также весь остальной монтаж, остаются на своих местах.

**Питание от сети постоянного тока.** При питании от сетей постоянного тока с напряжениями 110, 120, 220 *в* монтаж цепей питания делается так же, как и для случаев питания от сетей переменного тока с соответствующими напряжениями, но селеновый выпрямитель может быть исключен из схемы. При этом провод *II* не прокладывается, а провод *XIV* соединяет сопротивление $R_{10}$ с плюсом конденсатора $C_7$. В остальном схемы остаются без изменений. Нужно только обязательно в этом случае определить полярность гнезд штепсельной розетки сети, обозначить + на вилке и включать последнюю, строго соблюдая полярность, во избежание повреждения электролитических конденсаторов.

Можно включать в сеть постоянного тока и усилитель с селеновым выпрямителем. В этом случае правильность включения определяется также предварительно. Селеновый выпрямитель не всегда предотвратит повреждения электролитических конденсаторов при неправильном включении, так как проводимость его в обратном направлении может быть значительной.

**Монтаж усилителя с кенотронным выпрямителем.** Монтажная схема усилителя низкой частоты с однополупериодным кенотронным выпрямителем дана на фиг. 21. Если в каскаде предварительного усиления желательно применить лампу 6Ф5, то монтаж его выполняется, руководствуясь левой частью схемы фиг. 20,*а*.

Монтаж схемы с кенотронным выпрямителем отличается от монтажа схемы с селеновым выпрямителем только в части цепей питания. Поэтому мы остановимся на особенностях

монтажа только этих цепей. Сопротивления $R_7$ и $R_8$ сглаживающего фильтра монтируются внутри шасси, между гнездами ламповых панелей (фиг. 21). При желании эти сопротивления можно включить между выводными лепестками конденсаторов $C_6$, $C_7$ и $C_8$, как это показано на фиг. 20. Перемычки между гнездами панели кенотрона служат для запараллеливания анодов и катодов кенотрона 30Ц6С. Кенотрон 30П1М может вставляться в эту панель без переделки монтажа.

Гнезда *6* панелей кенотрона и оконечной лампы 30П1М являются холостыми и используются только как промежуточные точки спайки проводов и выводов от конденсаторов и сопротивлений.

Провод *II* соединяет катодные гнезда панели кенотрона с положительным полюсом конденсатора $C_7$; провод *III* идет на верх шасси к плюсу конденсатора $C_6$, а также к первичной обмотке выходного трансформатора в случае применения динамика ВЭФ-ПЕР-45. Назначение проводов *I, IV, IX, X, XII, XIII* и *XV* таково же, как и в схеме с селеновым выпрямителем.

**Варианты монтажа цепи накала.** Показанные на фиг. 21 проводники *VI* и *VII* выходят на верх шасси к концам сопротивления $R_9$. Такое включение этих проводников должно быть в случае применения в схеме бареттора 0,3Б17—35 и питания усилителя от сети и напряжением $100 \div 120$ *в* (фиг. 12,*а*), а также в том случае, когда усилитель работает от сети напряжением 220 *в* с отдачей повышенной выходной мощности. В обоих случаях сопротивление $R_9 = 60$ *ом*. В случае схемы без барретора (фиг. 11) из нее исключается панель последнего и проводник *VI* соединяется с точкой соединения проводника *I* и сопротивления $R_{10}$. В качестве опорной точки этого соединения может быть использовано холостое гнездо *1* панели кенотрона; при питании от 120-вольтовой сети $R_9 = 180$ *ом*, а при питании усилителя с повышенной до 2 *вт* мощностью от 220-вольтовой сети $R_9 = 510$ *ом*.

Для питания от сети напряжением 220 *в* по схеме фиг. 12,*в*, т. е. с применением барретора 0,3Б17—35, снаружи шасси или вне его (см. описание усилителя с селеновым выпрямителем на стр. 38) устанавливается дополнительное сопротивление $R_{11}$=270 *ом*. Провод *I* при этом отключается от панели барретора и присоединяется к одному из концов сопротивления $R_{11}$. Второй конец сопротивления $R_{11}$ соединя-

ется с гнездом *7* панели барретора (провод *VIII* на схеме фиг. 12,*в*). Сопротивление $R_{10}$ остается включенным на то же гнездо.

В случае применения барретора 0,3Б65—135 (фиг. 12,*г*) проводник *I* остается включенным на гнездо *7* панели барретора, но сопротивление $R_{10}$ перепаивается на ее гнездо *2* панели. Между гнездами барретера *2* и *7* включается сопротивление $R_{11}$=2 000 *ом* (см. табл. 4). Сопротивление $R_9$ в этом случае должно иметь величину 180 *ом* (см. табл. 3).

Наконец, при питании от 220-вольтовой сети без применения барретора (фиг. 12,*б*) в монтажной схеме нужно сделать следующие изменения: провод *I* соединяет предохранитель с одним концом сопротивления $R_{11}$=270 *ом*; второй конец сопротивления $R_{11}$ соединяется с сопротивлением $R_9$ и к точке их соединения подключается также сопротивление $R_{10}$. Включение проводника *VII* не изменяется.

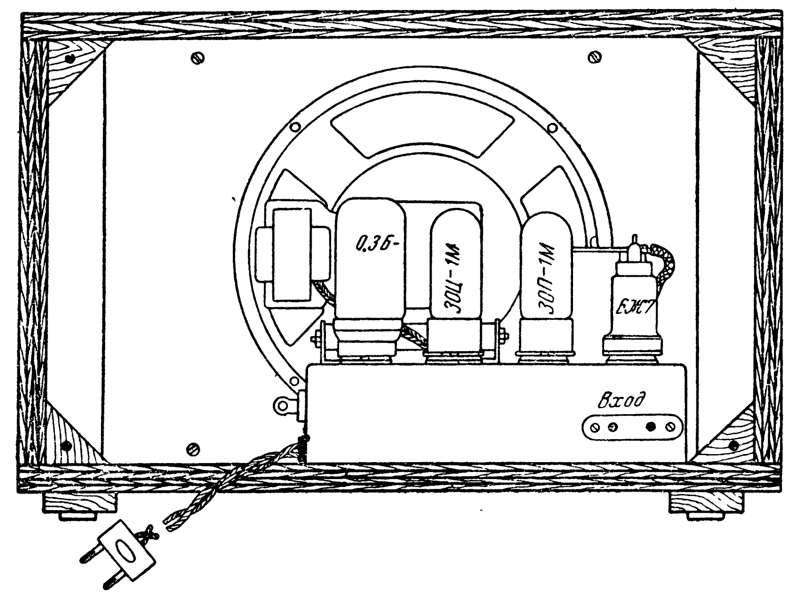
Любой вариант усилителя с кенотронным выпрямителем может включаться в сеть постоянного тока без всяких переделок. Работать он будет только при правильной полярности включения сети (плюс на анод кенотрона). При обратном включении лампы будут накаливаться, но работать усилитель не будет.

**Ящик для усилителя и динамика.** Шасси усилителя может быть установлено в общем ящике с динамиком. Ящик радиолюбитель может сделать по своему вкусу. Материалом для ящика может служить фанера или дощечки толщиной 10—15 *мм*. Из соображений лучшего звучания динамика и необходимого охлаждения усилителя объем ящика должен быть не менее 15 ÷ 20 *дм*³. Из тех же соображений задняя стенка ящика должна быть сделана из ткани, из тонкой перфорированной фанеры или перфорированного картона.

В случае применения динамика ВЭФ-ПЕР-45 усилитель устанавливается в его ящике, как показано на фиг. 22. В этом случае при монтаже усилителя его потенциометр регулирования усиления $R_1$ следует сместить как можно ближе к нижнему краю, а его ось удлинить до 85 ÷ 90 *мм*, чтобы конец ее можно было вывести на фасад ящика через просверленное отверстие в нем. Способ удлинения оси показан на фиг. 23. Нужно отрезать кусок латунного или железного стержня *2*, по диаметру равного диаметру оси потенциометра. Один конец этого стержня и конец оси потенциометра *1* спиливаются на одинаковую длину (фиг. 23,*а*) таким образом, чтобы при наложении одного из них на другой их цилиндрические поверх-

ности совпадали. Далее изготовляется из жести трубка *3* с внутренним диаметром, равным диаметру оси потенциометра. Спиленный конец стержня *2* накладывается на спиленный конец оси потенциометра *1*, на место их стыка надвигается трубка *3* и все место сочленения пропаивается. Общий вид готовой удлиненной оси показан на фиг. 23,*б*. Конец удлиненной оси нужно запилить для насадки на нее ручки.

При расположении усилителя в ящике динамика ВЭФ-ПЕР-45, сопротивление $R_9$ следует укрепить в горизонтальном



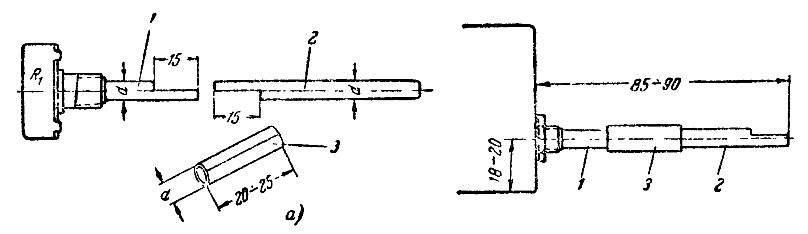

Фиг. 22. Расположение усилителя в ящике динамика ВЭФ-ПЕР-45.

положении на верхней поверхности шасси или установить его на той же стенке шасси, на которой монтирован держатель предохранителя, чтобы оно не соприкасалось с магнитной системой динамика. В случае применения селенового столбика значительного диаметра может также встретиться необходимость по той же причине изменить его расположение.

В дне ящика, против отверстий в лапках шасси, просверливаются отверстия диаметром, несколько большим, чем диаметр резьбы лапок шасси или припаянных к ним гаек. Через эти отверстия снизу вставляются винты длиной 20—25 *мм* и

ввинчиваются в резьбу лапок или их гаек. Таким образом осуществляется крепление шасси в ящике.

В задней решетчатой съемной стенке ящика динамика ВЭФ-ПЕР-45, против входных гнезд шасси, делается вырез, через который будет производиться включение в усилитель приемника или граммофонного адаптера. Шнур включения




Фиг. 23. Удлинение оси потенциометра.

питания на усилитель выводится из ящика через прорез в задней стенке, предназначенный для шнура, ранее соединенного с регулятором громкости и трансформатором динамика.

**Налаживание усилителя.** Правильно смонтированный усилитель работает нормально после первого включения. В отдельных случаях громкость его работы можно несколько улучшить, увеличивая или уменьшая в пределах не более $\pm10\%$ сопротивление смещения оконечного каскада $R_5$. Можно также попробовать с той же целью изменять несколько сопротивление смещения $R_2$ и сопротивление в цепи экранирующей сетки лампы первого каскада. Рекомендуем подобрать опытным путем емкость конденсатора $C_4$. В зависимости от индивидуальных свойств динамика наиболее приятное звучание может получиться при емкости $C_4$ от 10 000 до 40 000 *пкф*.

Необходимость в заземлении шасси должна быть проверена на практике. В отдельных случаях заземление шасси уменьшает фон переменного тока в динамике, а иногда присоединение заземления не дает никакого эффекта.

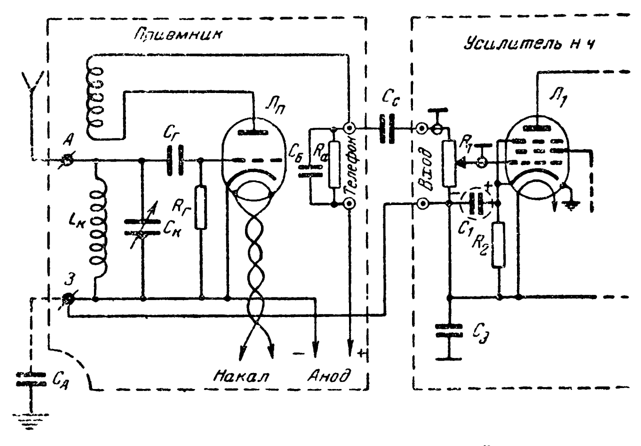
## 6. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ПРИЕМНИКАМИ И АДАПТЕРОМ

**Соединение с регенеративным приемником.** Схема включения входа усилителя низкой частоты на регенеративный приемник показана на фиг. 24. Входное гнездо усилителя, соединенное с минусом его выпрямленного напряжения, подключается к зажимам «земля» регенератора. Другое входное гнездо

соединяется через конденсатор $C_c$ возможно более коротким проводником с тем гнездом «телефон» регенератора, которое соединено с анодом его лампы.

Если по каким-либо причинам приемник нельзя поставить близко к усилителю, соединительные провода нужно экранировать, а экран соединить с входным гнездом усилителя, которое соединено с минусом его анодного напряжения. При невыполнении этого условия в громкоговорителе может появиться фон переменного тока вследствие индукции проводов электросети на входные соединительные провода усилителя или может возникнуть самовозбуждение усилителя за счет связи между его выходными цепями и длинными входными проводами.

Заземление к приемнику обычным способом присоединять нельзя, так как при этом произойдет короткое замыкание электросети через монтаж усилителя и приемника. Часто приемник при работе с усилителем не нуждается в заземлении,




Фиг. 24. Схема соединения входа усилителя низкой частоты с регенеративным радиоприемником.

так как сама электросеть, включенная на приемник через усилитель, служит противовесом. В отдельных случаях дает улучшение приема соединение между зажимом *З* (земля) и заземлением с помощью конденсатора $C_д$ (фиг. 24) емкостью 1 000 ÷ 3 000 *пкф*.

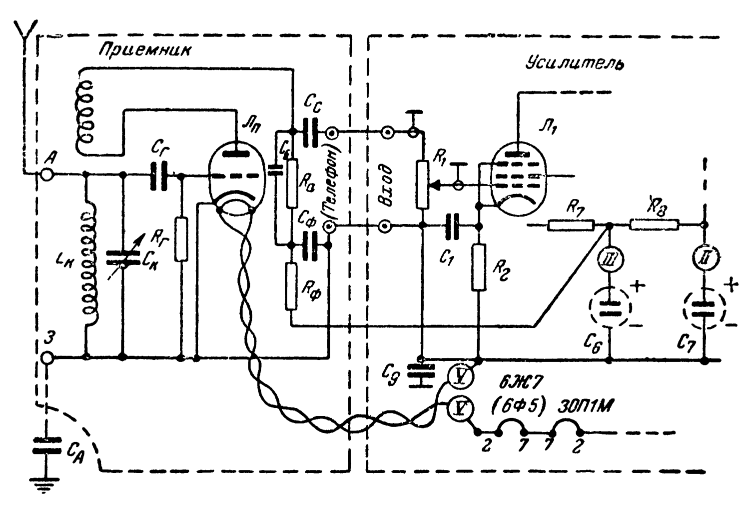
Конденсатор $C_c$ (фиг. 24) должен иметь емкость порядка 5 000 ÷ 10 000 *пкф*. Между гнездами «телефон» приемника нужно обязательно включить сопротивление $R_a$. Величина

последнего должна быть подобрана практически (в пределах 25 000 ÷ 150 000 *ом*). Следует остановиться по возможности на самой большой величине сопротивления $R_a$, при которой в приемнике возникает и регулируется обратная связь. Емкость блокировочного конденсатора $C_б$ нужно попробовать изменять. Желательно применить конденсатор $C_б$ по возможности малой емкости, при которой правильно действует обратная связь и в то же время получается наиболее удовлетворительное звучание динамика. При чрезмерно большой емкости $C_б$ динамик «басит», так как такой конденсатор ухудшает прохождение на усилитель высших частот.

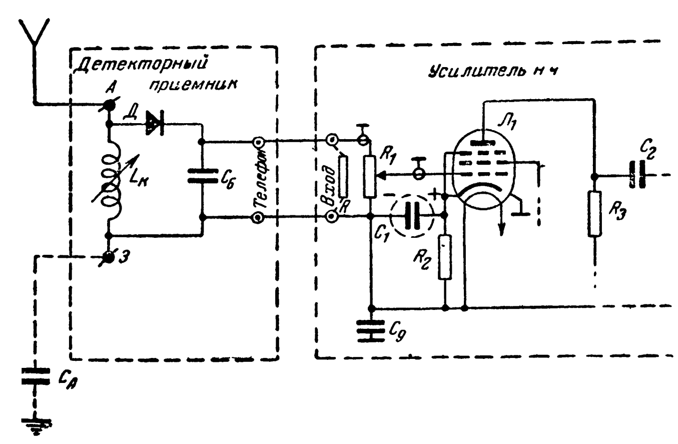
Сравнивая схему фиг. 24 со схемой фиг. 7, не трудно убедиться, что на фиг. 24 соединение анодной цепи электронной лампы $Л_п$ с цепью сетки лампы $Л_1$ аналогично соединению анодной цепи лампы $Л_1$ с целью сетки лампы $Л_2$ в схеме фиг. 7. Следовательно, передача напряжения низкой частоты из анодной цепи лампы приемника в цепь сетки лампы $Л_1$ усилителя осуществляется уже известным нам путем.

**Объединение питания приемника с усилителем.** Питание анодной цепи регенеративного приемника может производиться от выпрямителя, содержащегося в описанном нами усилителе низкой частоты. В левой части фиг. 25 мы даем схему регенератора, приспособленную для такого способа питания. Здесь переходной конденсатор $C_c$ введен в состав схемы приемника. Гнездо, которое ранее было соединено с плюсом анодного напряжения, питающего приемник, в схеме фиг. 25 соединено с зажимом «земля» регенератора. Благодаря этому осуществляется удобное соединение двумя проводниками гнезд «телефон» и «вход». По одному из этих проводников одновременно подается минус от выпрямителя на лампу $Л_п$ приемника. Положительный полюс выпрямленного напряжения подается на анод $Л_п$ с конденсатора $C_6$ через сопротивление $R_ф$, образующее с конденсатором $C_ф$ дополнительную ячейку фильтра анодного напряжения, поступающего на эту лампу. Конденсатор $C_ф$ — с емкостью 5 ÷ 2 *мкф*. Сопротивление $R_ф$ подбирается таким образом, чтобы, с одной стороны, в приемнике нормально возникала генерация и плавно регулировалась обратная связь, а с другой — был бы минимальным фон переменного тока. Оптимальная величина сопротивления $R_ф$ имеет порядок десятков тысяч ом и зависит от типа лампы $Л_п$ величины $R_a$ и ряда других индивидуальных особенностей приемника. О подборе величины $C_б$, $C_c$ и $R_a$ мы уже говорили.

Если в приемнике применена лампа 6-вольтовой серии (6Ф5, 6С5 и т. п.), ее нить накала можно включить последовательно с нитями ламп усилителя. Удобнее всего это сделать следующим образом: удаляется проводник-перемычка *V* в схеме усилителя (см. фиг. 9—12, 20 и 21) и нить накала лампы $Л_п$ включается между гнездами *1* и *2* панели лампы




Фиг. 25. Использование выпрямителя, питающего усилитель низкой частоты, для питания регенеративного приемника.

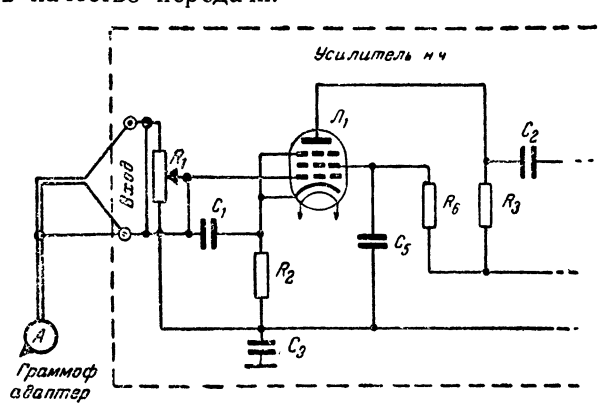



Фиг. 26. Схема соединения усилителя низкой частоты с детекторным приемником.

предварительного усиления (фиг. 25). При этом нужно уменьшить на 20 *ом* величину сопротивления $R_9$.

**Усиление от детекторного приемника.** Для усиления передачи от детекторного приемника его гнезда «телефон» соединяются с гнездами «вход» усилителя (фиг. 26) короткими проводниками. При необходимости применить сравнительно длинные проводники их нужно экранировать. Следует попробовать включение между входными гнездами усилителя сопротивления $R = 10\,000 \div 50\,000$ *ом*.

Подбором его величины в отдельных случаях удается улучшить качество передачи.




Фиг. 27. Схема включения адаптера на вход усилителя.

**Прием на электросеть.** Если в качестве антенны к детекторному приемнику используется электросеть, то при подключении к приемнику усилителя сеть следует отключить от зажима «антенна» приемника (сеть теперь будет включена на приемник через усилитель), землю отсоединить от зажима «заземление» и присоединить зажим «антенна» к земле через конденсатор $C_A$.

**Включение граммофонного адаптера.** Включение граммофонного адаптера на вход усилителя показано на фиг. 29. Провода, идущие от адаптера, обязательно должны быть заэкранированы. Экран соединяется с минусом выпрямленного напряжения. Металлический держатель и корпус адаптера должны быть также соединены с цепью минуса. При несоблюдении этих условий фон переменного тока в громкоговорителе может быть значительным.

← Одна и та же декада ↓

| *ом* | 10 | 12 | 15 | 18 | 22 | 27 | 33 | 39 | 47 | 56 | 68 | 82 | *ом* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 5,00 | 5,46 | 6,00 | 6,43 | 6,88 | 7,30 | 7,68 | 7,96 | 8,25 | 8,49 | 8,72 | 8,91 | 10 |
| 12 | 10,7 | 6,00 | 6,67 | 7,21 | 7,78 | 8,31 | 8,70 | 9,19 | 9,56 | 9,89 | 10,2 | 10,5 | 12 |
| 15 | 13,0 | 13,3 | 7,50 | 8,19 | 8,93 | 9,65 | 10,3 | 10,8 | 11,4 | 11,8 | 12,3 | 12,7 | 15 |
| 18 | 15,3 | 15,7 | 16,1 | 9,00 | 9,90 | 10,8 | 11,7 | 12,3 | 13,0 | 13,6 | 14,2 | 14,8 | 18 |
| 22 | 18,0 | 18,6 | 19,2 | 19,6 | 11,0 | 12,1 | 13,2 | 14,1 | 15,0 | 15,8 | 16,6 | 17,3 | 22 |
| 27 | 21,2 | 22,0 | 22,8 | 23,5 | 24,0 | 13,5 | 14,8 | 16,0 | 17,1 | 18,2 | 19,3 | 20,3 | 27 |
| 33 | 24,8 | 25,9 | 27,0 | 27,9 | 28,7 | 29,4 | 16,5 | 17,9 | 19,4 | 20,8 | 22,2 | 23,6 | 33 |
| 39 | 28,0 | 29,4 | 31,0 | 32,1 | 33,1 | 34,1 | 34,9 | 19,5 | 21,3 | 23,0 | 24,8 | 26,4 | 39 |
| 47 | 32,0 | 33,8 | 35,8 | 37,3 | 38,7 | 40,0 | 41,2 | 42,0 | 23,5 | 25,6 | 27,8 | 29,9 | 47 |
| 56 | 35,9 | 38,2 | 40,8 | 42,7 | 44,7 | 46,4 | 47,9 | 49,0 | 50,0 | 28,0 | 30,7 | 33,3 | 56 |
| 68 | 40,5 | 43,4 | 46,8 | 49,3 | 52,0 | 54,3 | 56,4 | 57,9 | 59,4 | 60,6 | 34,0 | 37,2 | 68 |
| 82 | 45,1 | 48,7 | 53,0 | 56,3 | 59,7 | 62,9 | 65,7 | 67,7 | 69,9 | 71,5 | 73,2 | 41,0 | 82 |
| *ом* | 100 | 120 | 150 | 180 | 220 | 270 | 330 | 390 | 470 | 560 | 680 | 820 | *ом* |

Соседние декады → высшая

Цена 2 руб.